

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství

Studijní obor: 3909T010 – Inovační inženýrství

Zaměření: Inovace výrobků

Katedra částí a mechanismů strojů

**Inovace úchytu snímače zrychlení**

**Innovation handle acceleration sensor**

Autor DP :	Bc. Jakub Štros
Vedoucí DP :	prof. Ing. Lubomír Pešík, CSc.
Konzultant DP :	Ing. Martin Pustka, Ph.D.

## **Rozsah práce a příloh :**

Počet stran :	55
Počet tabulek :	7
Počet příloh :	6
Počet obrázků :	42
Počet rovnic :	9

**Datum :** 27.5.2010

## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č.121/200 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Datum            27.5.2010

Podpis

## **Poděkování**

Na začátku této práce bych rád poděkoval prof. Ing. Lubomíru Pešíkovi, CSc. a ostatním členům z katedry částí a mechanismů strojů za odborné rady a pomoc při vypracování diplomové práce.

# ANOTACE

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra částí a mechanismů strojů

Oddělení Inovační inženýrství

Studijní program : N2301 – Strojní inženýrství  
Student : Bc. Jakub Štros  
Téma práce : Inovace úchytu snímače zrychlení  
Innovation handle acceleration sensor

Vedoucí DP: prof. Ing. Lubomír Pešík, CSc.  
Konzultant DP: Ing. Martin Pustka, Ph.D.

## **Abstrakt:**

Diplomová práce se zabývá inovací úchytu snímače zrychlení pro měření mechanického rázu. Mezi narážený objekt a snímač je vložen úchyt, jehož cílem je frekvenční filtrace naměřeného signálu. Dochází tak k oddělení hledaného průběhu zrychlení od vysokofrekvenčních složek, které vznikají v důsledků kmitání objektu jako pružného tělesa.

**Klíčová slova:** Inovace, úchyt, filtrace, mechanický ráz

## **Abstrakt:**

Theme of this thesis is the innovation of the acceleration gauge bracket used for measurements of mechanical shock. The bracket is located between the acceleration gauge and the hit object and is intended to filter the frequency of the measured signal. Therefore the sought acceleration is separated from high frequency components originating from the vibration of object as an elastic body.

**Keywords:** Innovation, handle, filter, mechanical shock

## **Obsah**

<b>1. Úvod.....</b>	<b>- 10 -</b>
<b>2. Cíl diplomové práce .....</b>	<b>- 11 -</b>
<b>3. Výchozí podmínky .....</b>	<b>- 12 -</b>
3.1. Stávající měření mechanického rázu .....	- 13 -
3.1.1. Popis akcelerometrů.....	- 13 -
3.2. Zpracování výsledků měření.....	- 15 -
3.2.1. Butterworth filtr .....	- 16 -
3.2.2. Matematické filtry – Waveletova transformace.....	- 18 -
3.2.2.1. Definice waveletu .....	- 18 -
3.2.2.2. Diskrétní waveletová transformace (DWT).....	- 20 -
3.2.3. Využití optických systémů ARAMIS .....	- 22 -
<b>4. Plánování inovace úchyty .....</b>	<b>- 23 -</b>
4.1. Inovační příležitosti a záměr.....	- 23 -
4.2. Inovační prohlášení.....	- 23 -
4.3. Plán zdrojů .....	- 24 -
4.4. Harmonogram inovačního projektu.....	- 24 -
4.5. Projektový plán.....	- 25 -
<b>5. Inovace úchyty snímače .....</b>	<b>- 26 -</b>
5.1. Separace signálu na makro a mikro pohyb .....	- 26 -
5.2. Eliminace parazitního signálu - Mechanické filtry.....	- 27 -
5.3. Současné metody uchycení snímačů .....	- 28 -
5.4. Tvorba konceptu výrobku.....	- 28 -
5.4.1. Prvotní předpoklady.....	- 28 -
5.4.2. Generování návrhu.....	- 31 -
5.4.2.1. Varianta I .....	- 31 -
5.4.2.2. Varianta II .....	- 31 -
5.4.2.3. Varianta III.....	- 32 -
5.4.2.4. Varianta IV .....	- 32 -
5.4.2.5. Varianta V .....	- 32 -
<b>6. Rázové zkoušky na přípravku .....</b>	<b>- 33 -</b>
6.1. Výroba prototypů a měřicího zařízení .....	- 33 -



6.2.	Mechanická izolace snímače zrychlení .....	- 34 -
6.2.1.	Měřicí aparatura .....	- 35 -
6.2.2.	Výsledky z měření mechanické izolace .....	- 36 -
6.3.	Matematické zpracování waveletovou analýzou .....	- 43 -
6.4.	Měření rychlokamerou.....	- 42 -
<b>7.</b>	<b>Výběr a hodnocení konceptů.....</b>	<b>- 48 -</b>
7.1.	Iterativní proces při výběru konceptu .....	- 48 -
7.2.	Analýza spolehlivosti – FMEA .....	- 49 -
7.3.	Hodnocení z hlediska naměřených hodnot .....	- 50 -
<b>8.</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>- 53 -</b>
	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>- 54 -</b>
	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>- 55 -</b>

**SENA M POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ**

$\tau$	čas posunutí	[s]
$\pi$	Ludolfovo číslo	
$\omega$	úhlová rychlost	[s <sup>-1</sup> ]
$\omega_0$	úhlová frekvence vlastních kmitů	[Rad/s]
$\omega_d$	nulová frekvence tlumení	[Rad/s]
$ H(\omega) ^2$	frekvenční odezva	[Hz]
$\omega_L$	[Rad/s]	
$a$	zrychlení	[m/s <sup>2</sup> ]
$C$	Kapacita [F]	
$c$	konstanta (součinitel) útlumu	[N/ms <sup>-1</sup> ]
$\cos x$	goniometrická funkce kosinus	
CWT	Spojité waveletova transformace	
DWT	Diskrétní waveletova transformace	
$e$	Eulerovo číslo	
FT	Fourierova transformace	
$i$	Imaginární jednotka	
$k$	konstanta pružného uložení	[N/m]
$L$	Indukčnost	[H]
$m$	hmotnost	[kg]
$n$	n-tý řád	
PE	Polyetylén	
PO	Polyofelin	
PP	Polypropylen	
PU	Polyuretan	
$R$	Elektrický odpor	[Ω]
$s$	měřítka vlnky	
$s$	dráha	[m]
$s^{-1/2}$	normalizace energie	
$\sin x$	goniometrická funkce sinus	
$t$	čas	[s]
$v$	rychlost	[m/s]



$WT(\tau, s)$	vypočítané koeficienty WT
WT	Waveletova transformace
$x(t)$	analyzovaný signál
$\Psi$	transformační funkce, která se nazývá základní (mateřská) vlnka
$\tau$	je časové posunutí
$\psi$	konkrétní vlnka vygenerovaná z mateřské vlnky



## 1. Úvod

V řadě případů technické praxe, zejména v automobilovém průmyslu, se z různých důvodů měří kinematické veličiny na objektech při dynamických dějích. Tyto děje bývají velmi často rázové. K měření se používají obvykle piezoelektrické, nebo tenzometrické snímače zrychlení založené na pohybu setrvačné hmoty a její setrvačné síle, která je snímána elektricky. Připojení snímače k objektu se provádí lepením, šroubovým spojem, magnetem, oboustrannou lepicí páskou a dalšími způsoby, tedy relativně tuhou vazbou.

Snímače jsou velmi citlivé a při rázových dějích zaznamenávají široké frekvenční spektrum vybuze mechanickým rázem. Při měření se tak snímají kinematické veličiny nejen hledaného pohybu objektu, ale i jeho vlastní kmity jako pružného tělesa. Kromě toho snímač připojený k objektu představuje dynamickou soustavu se svými vlastními frekvencemi. Vzhledem k této skutečnosti je naměřený signál směsí kinematických hodnot, které přísluší uvedeným pohybům. Protože se tyto pohyby zásadně liší, zejména polohou ve frekvenční oblasti, lze je rozdělit na dvě složky, makropohyb a mikropohyb. Oddělení příslušných kinematických veličin matematickou filtrací je možné provést na základě waveletové analýzy. Metody frekvenční filtrace pro periodické děje zde selhávají. I přes současné možnosti matematických metod jsou získané výsledky bez dalšího ověření nejisté, neboť výsledky výpočtu často závisí na volbě parametrů použité metody.

Předložená diplomová práce se zabývá novým přístupem k řešení uvedené problematiky, který je založen na inovaci úchytu snímače za účelem mechanické filtrace měřeného signálu.

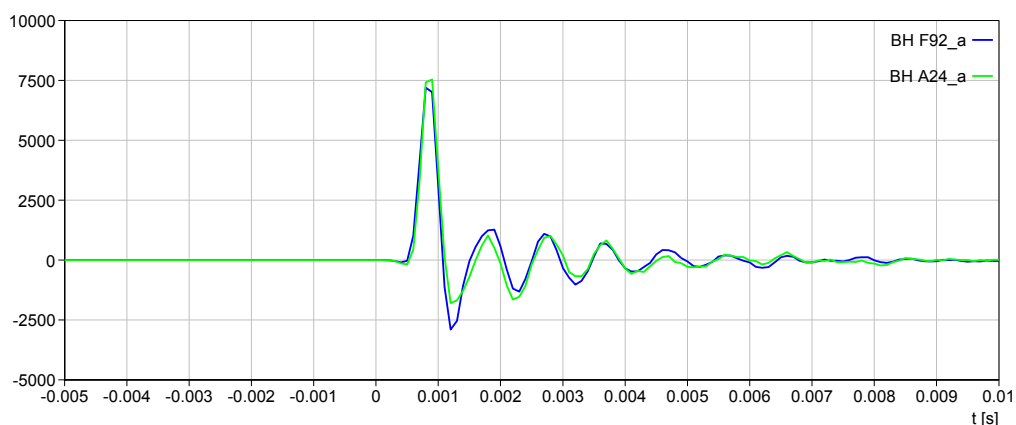
## 2. Cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce je vytvoření inovovaného úchytu snímače zrychlení, který zavede frekvenčně degresivní vazbu mezi snímačem a měřeným objektem. Pro tyto účely se předpokládá využití materiálů s velmi nízkou tuhostí a vysokým tlumením, případně i jednoduchých mechanismů malých rozměrů. Inovovaný úchyt snímače má vykazovat schopnost mechanické filtrace signálu, tedy potlačení mikropohybu, a eliminovat složky amplitud vysokých frekvencí.

Jednou z možností upevnění snímače k objektu je ve vytvoření jeho pružné a tlumící vazby k měřenému objektu.

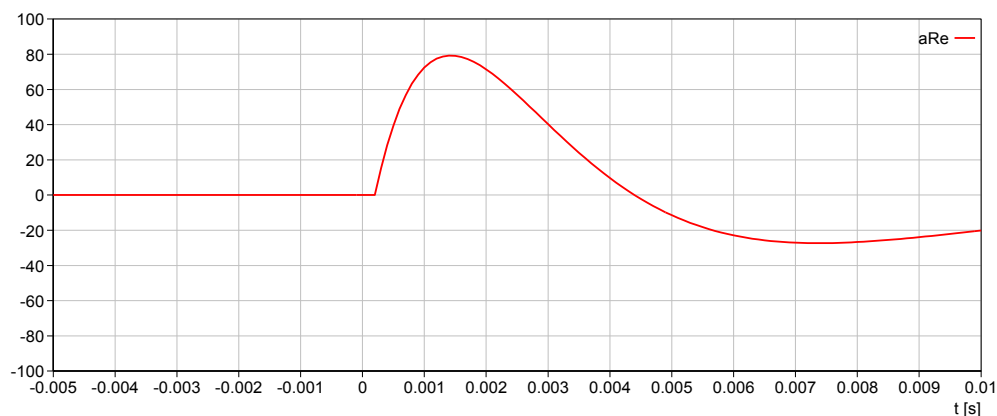
### 3. Výchozí podmínky

Jak již bylo řečeno, dané snímače zaznamenávají široké frekvenční spektrum a tudíž i vlastní kmity, jednotlivých objektu v soustavě. Tyto vlastní kmity jednotlivých objektů do výsledného signálu z měření celé soustavy přináší, určité výchylky, které zhorčují kvalitu signálu a tím i možné nepřesnosti v měření. Jak je vidět na Obr. 3.1.1. , který znázorňuje skutečné hodnoty signálu při nízkém tlumení.



Obr. 3.1.1 Skutečné hodnoty signálu

Vzhledem k těmto poznatkům se ta to diplomová práce zabývá vytvořením jednoduchého miniaturního mechanismu s využitím plastických hmot, který by vytvořil silně regresivní vazbu mezi snímačem a měřeným objektem. Která by vyfiltrovala vlastní kmity účastněných objektů a dovoľovala zaznamenávat jen makropohyb soustavy. V ideálním případě by byl výsledný signál dle Obr. 3.1.2.



Obr. 3.1.2 Ideální případ průběhu výsledného signálu

### 3.1. Stávající měření mechanického rázu [1]

Při měření vibrací je velmi důležité klást důraz na volbu měřicího zařízení, jeho správného nastavení a vhodnou metodiku měření. Správně naměřená data jsou základem pro přesná vyhodnocení výsledků měření. K měření se využívá miniaturních piezoelektrických akceleroometrů.

Miniaturní z důvodu, aby dané tlumicí zařízení svojí hmotností a rozměry neovlivňovalo měřený povrch. A jelikož i vývoj v měřicích zařízení za poslední roky vykazuje pokrok, hlavně z hlediska rozměrů snímačů zrychlení (Obr. 3.1.3), je zapotřebí i z tohoto důvodu přizpůsobit rozměry tlumicího mechanismu.



Obr. 3.1.3. Piezoelektrický snímač zrychlení

#### 3.1.1. Popis akceleroometrů [2,3]

Akceleroometr je přístroj, který měří vibrace nebo zrychlení při pohybu struktur (konstrukcí, části strojů a pod.). Síla způsobující vibrace nebo změnu pohybu (akceleraci) působí na hmotu snímače, která pak stlačuje piezoelektrický prvek generující elektrický náboj úměrný stlačení. Protože je elektrický náboj úměrný síle a hmota snímače je konstantní, je tedy elektrický náboj také úměrný zrychlení – akceleraci.

Jsou dva typy piezoelektrických akceleroometrů (snímačů vibrací). První typ má výstup s vysokou impedancí a jeho výstup může být připojován k měřicím přístrojům. Výstup s elektrickým nábojem však vyžaduje speciální přizpůsobení a přístroje většinou charakteristické pro vývojové pracoviště. Tento typ snímače se také používá při aplikacích s teplotou vyšší než 120 °C, kde nízkoimpedanční modely nelze použít.

Druhý typ akcelerometru, který je spíše používán má výstup s nízkou impedancí. Obvykle je piezoelektrický prvek zabudován do mikroelektronického obvodu, a FET tranzistor pak konvertuje tento náboj na napěťový výstup s nízkou impedancí a ten lze snadno připojovat na standardní měřicí přístroje. Obvykle se tento typ používá v průmyslových provozech. Napájecí zdroj pro akcelerometry poskytuje napájení 18 až 24V mikroelektronického obvodu konstantním proudem 2mA a odstraňuje tak kolísání středu u výstupního signálu  $\pm 5V_{ss}$ , jenž je úměrný signálu mV/g akcelerometru. .

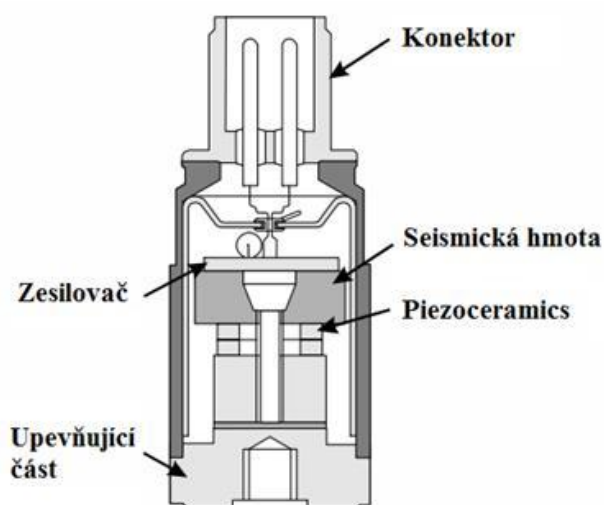
### ➤ Snímač zrychlení – tlakový

#### Výhody :

- Odolný na rázy
- Široký rozsah

#### Nevýhody :

Velký teplotní vliv



Obr. 3.1.4. Snímač zrychlení – tlakový

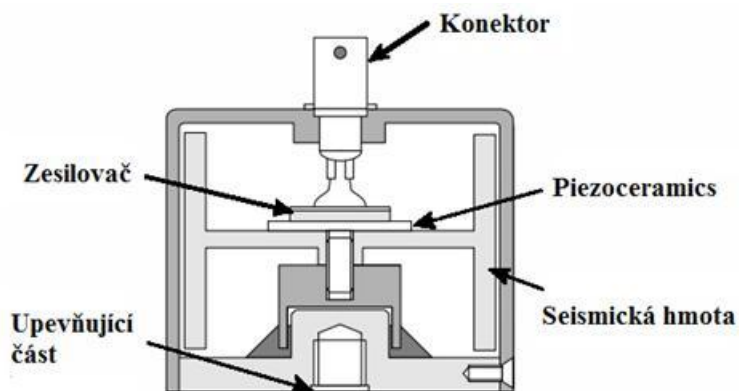
### ➤ Snímač zrychlení – na principu ohybu

#### Výhody :

- Velmi vysoké teploty
- Velmi nízké frekvence

#### Nevýhody :

Citlivý na rázy



Obr. 3.1.5. Snímač zrychlení – na principu ohybu

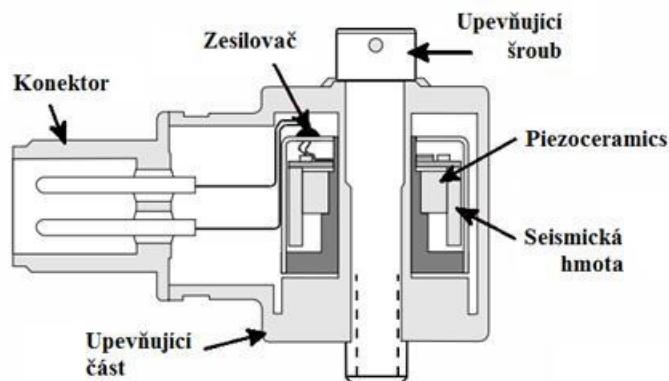
## ➤ Snímač zrychlení – smykový

### Výhody :

- Nízký teplotní vliv
- Nízký profil

### Nevýhody :

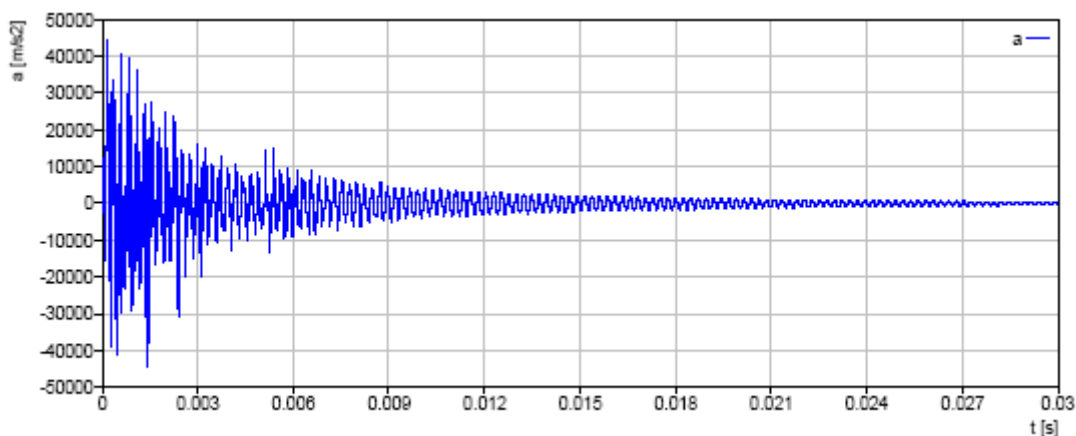
Menší citlivost



Obr. 3.1.6. Snímač zrychlení – smykový

## 3.2. Zpracování výsledků měření

Jak je vidět na Obr 3.2. znázorňující signál při rázovém ději, při měření se do výsledného signálu dostávají i rušivé složky, které je potřeba odfiltrovat. V současné době se používají filtry, které si ale dostatečně neumí poradit s nestacionárními signály, a mezi ne patří např. Batterworth filtr. Ten to nedostatek už dnes odstraňují určité druhy filtrů, např Wavelets.



Obr. 3.2.. Sygnál znázorňující rázový děj

### 3.2.1. Butterworth filtr

**[4,5]**

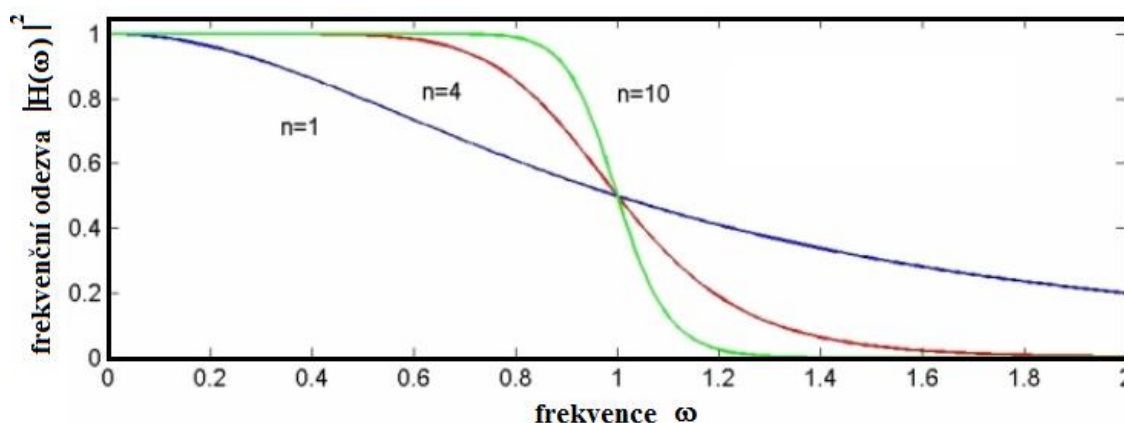
V dnešní době se nejčastěji využívá pro filtrování signálu low-pass filtrů a to Butterworth filtru, je to jedna z nejčastějších systematických analogových metod výpočtu filtru.

Ostatní klasické metody výpočtu filtru jsou Chebyshev Type I, Chebyshev Type II, eliptický (nebo Cauer), a Bessel

Butterworth filtr je filtr, který je možný vytvořit z pasivních R,C,L obvodů. Velikost přenosové funkce pro tento Butterworth filtr je (rovnice 3.1).

$$|H(i\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_c}\right)^{2n}}} \quad (3.1)$$

Kde  $n$  je stupeň filtrů, a  $\omega_c$  udává přerušeni frekvence. Přerušeni frekvence je frekvence, kde velikost se mění o 3 dB (kde  $|H(i\omega)| = \frac{1}{\sqrt{2}}$ ). Obr. 3.2.1.1.



Obr. 3.2.1.1. Tři různé dolní propusti Butterworthových analogových filtrů:  $n = \{1, 4, 10\}$ .

Kde se zvyšujícím  $n$  se filtr více blíží k ideální odezvě dolní propusti

Důležité aspekty v Obr.3.2.2. jsou ty, že neřeší přenosové pásmo nebo nepřístupné pásma, jako jiné filtry. Jen velikost  $n$ , které vede k ostřejšímu přerušeni (menší přechodové pásmo).

Tyto přenosové funkce jsou často viděny v normalizované formě pro dolní propust u Butterworthových filtrů (rovnice 3.2).

$$|H(i\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \omega^{2n}}} \quad (3.2)$$

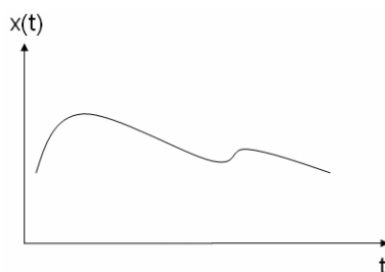
Hlavní charakteristiky u normalizovaných Butterworth filtrů frekvenční odezvy jsou :

- Velmi blízko poblíž  $\omega = 0$  a  $\omega = \infty$
- Velmi hladký ve všech frekvencích s monotónním poklesem z  $\omega = 0$  do  $\omega = \infty$
- Vysoké rozdíly mezi ideální a aktuální odezvou blízko přenosu v  $\omega = 1$

Butterworthovy filtry dávají přenosové funkce (  $H(i\omega)$  a  $H(s)$  ), které jsou racionálními funkcemi. Také mají jediný pól, výsledky v přenosové funkci jsou ve formě (vzorec 3.3).

$$\frac{1}{(s-s_1)(s-s_2)\dots(s-s_n)} \quad (3.3)$$

Hlavní nevýhodou tohoto filtru je, že měří jen spojitý signál (signál se spojitým časem Obr. 3.2.1.2. ). Což přináší velké omezení v měření rázových dějů.



Obr. 3.2.1.2. Příklad spojitého signálu



### 3.2.2. Matematické filtry – Waveletova transformace

**[6,7]**

Waveletová transformace poskytuje oproti Fourierově transformaci (dále jen FT) informaci o časové lokalizaci spektrálních složek. FT není vhodná pro analýzu nestacionárních signálů. FT využívá kosinové a sinové funkce pro rozklad signálů, a je nejlepší pro popis periodických signálů. WT nabízí nový přístup k analýze signálů použitím speciálního filtru nazvaného wavelet (vlnka). Každá waveletova funkce osciluje pouze v okolí bodu lokalizace, což poskytuje dobrou prostorovou lokalizaci. Cílem WT je rozložit vstupní signál do řady waveletových koeficientů. Toto je dosaženo filtrováním signálu párem ortogonálních filtrů. Jsou označeny jako otcovský wavelet a mateřský wavelet. Otcovský wavelet určuje celkový trend signálu - rozklad na škálové koeficienty, zatímco mateřský wavelet zachycuje doplňkovou informaci o „jemnostech“ na jednotlivých úrovních - waveletové koeficienty.

Základní rozdíl mezi Fourierovou a WT je v tom, že wavelety nejsou periodické funkce: termíny z wavelet roztažení jsou stavět, rozšířit a posunuté jednotlivé "mateřského waveletu," tak roztažení je lokalizovat, jak ve frekvenci, tak v času. Toto dělá WT velmi výhodnou pro analýzu nestacionárních nebo neperiodických signálů. WT lze úspěšně použít v tak různých oborech jako je komprese obrazu, analýza řeči, analýza přechodných dějů nebo odhalování poruch.

#### 3.2.2.1. Definice waveletu

**[8]**

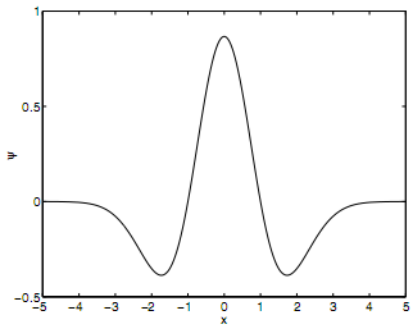
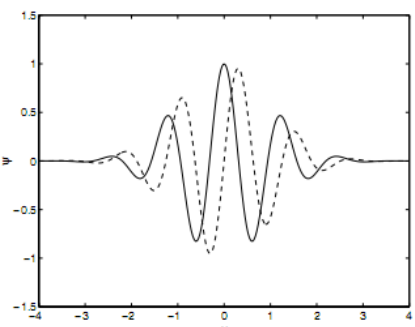
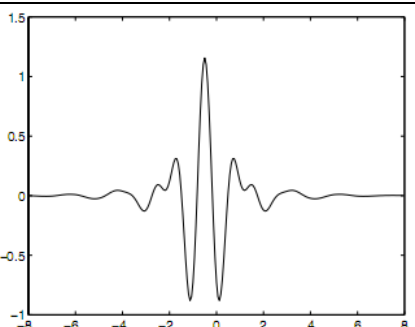
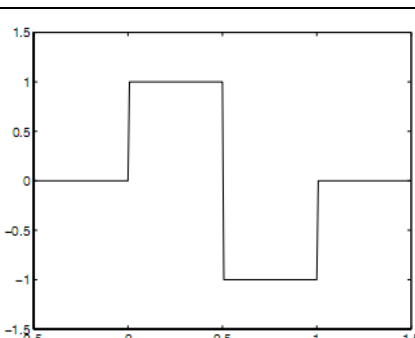
Waveletova transformace se přímo váže na termín wavelet. Wavelet (nebo také vlnka), je každá matematická funkce (typicky označovaná řeckým písmenkem  $\psi$ ), která má obvykle podobu krátkého kmitu. Měla by být čtvercově integrovatelná, to znamená, že její integrál od mínus nekonečna do nekonečna musí být menší než nekonečno

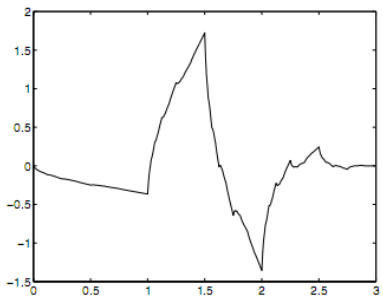
(Vzorec 3.4).

$$\int_{-\infty}^{\infty} |\psi(t)|^2 dt < \infty \quad (3.4)$$

Při běžném užití waveletové transformace se nepoužívají “vymyšlené” wavelety a sahá se po ověřených, tabulkových, kterých je několik set. Pro lepší představu zde uvedu pár příkladů nejpoužívanějších vlnek (Tabulka 3.2.2.1.).

Tabulka 3.2.2.1. Příklady nejpoužívanějších vlnek

Název vlny a rovnice	Tvar vlny
<b>Mexican hat</b> $\psi(x) = \frac{2}{\sqrt{3}}\pi^{\frac{1}{4}}(1 - 2x^2)e^{-x^2}$	
<b>Morletova vlnka</b> $\psi(x) = a.e^{-\frac{1}{2}x^2}(\cos(5x) + j \sin(5x))$	
<b>Meyerova vlnka</b> Nemá explicitní vzorec vyjádřený v čase	
<b>Haarova vlnka</b> $\psi(x) = 1 \text{ pro } x \in \left\langle 0; \frac{1}{2} \right\rangle$ $\psi(x) = -1 \text{ pro } x \in \left\langle \frac{1}{2}; 1 \right\rangle$	

Název vlny a rovnice	Tvar vlny
<p><b>Vlnka Daubechies</b></p> <p>Nemá explicitní vzorec vyjádřený v čase</p>	

Haarova vlna je jedna z prvních a nejjednodušších vlnek používaných ve waveletové transformaci a je definována čtyřmi intervaly, jak je dobře patrné z grafu. ale pro rázové děje je lepší a výhodnější použít Biorthogonal vlnu.

### 3.2.2.2. Diskrétní waveletová transformace (DWT)

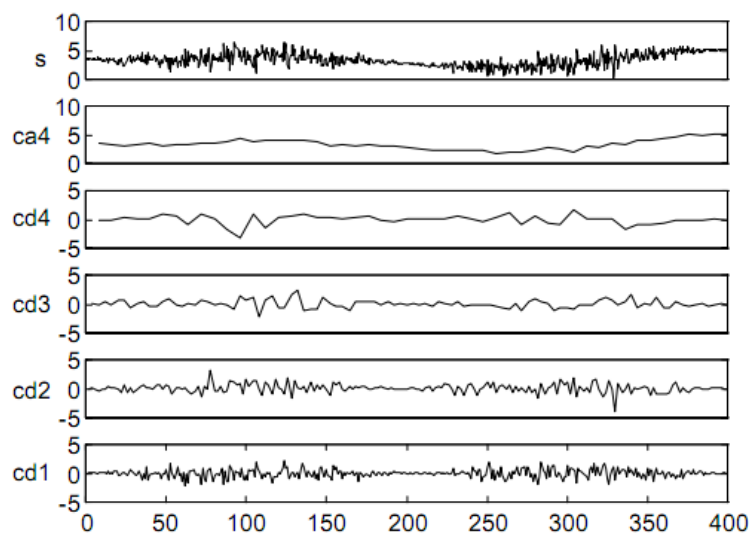
U většiny signálů je pro nás důležitější obsah nižších frekvencí, neboť právě tyto frekvence reprezentují podstatu nebo charakter signálu. Vysoké frekvence naopak ovlivňují odstín signálu. Projevují se na nich třeba i nechtěné jevy (např. měřený signál za přítomnosti šumu o vyšší frekvenci). Diskrétní WT (discrete wavelet transform; DWT) užívá pro tyto dva rozdílné aspekty signálu názvy aproximační koeficienty (approximation coefficients) a detailní koeficienty (detail coefficients).

Algoritmus DWT je následující:

Analyzovaný signál necháme projít dvěma komplementárními propustmi. Dolní propust oddělí aproximaci prvního řádu, a horní propust detail prvního řádu. Získáme tak však dvojnásobný počet dat. To je dvakrát více dat, než potřebujeme pro reprezentaci signálu. Počet dat lze zredukovat tím, že signál převzorkujeme. To znamená, že například vynecháme každý druhý prvek signálu. Tento proces se nazývá decimace (oversampling). Je však třeba vzít v úvahu, že při tomto postupu může dojít k jevu zvanému překrývání spekter (aliasing). Zabránit mu lze použitím vhodných filtrů.

Aplikací filtrace získáme koeficienty aproximace 1. řádu  $kA1$  a koeficienty detailu 1. řádu  $kD1$ . Budeme-li pokračovat, dostaneme se ke koeficientům aproximací a detailů vyšších řádů. Při každém dalším řádu této operace se zdvojnásobuje měřítko (při prvním řádu máme měřítko  $2^1$ , při  $n$ -tém řádu  $2^n$ ). Na konci tohoto pyramidálního

algoritmu získáme vlnkový rozkladový strom (wavelet decomposition tree). Příklad takového rozkladu je znázorněn na (Obr. 3.2.2.3.)



Obr. 3.2.2.3. Rozklad signálu do čtvrtého řádu

Pro získání diskretní spektrální reprezentace (DWT) je nutné dvojdimenzionální spojitou transformaci vzorkovat. K tomuto účelu se používá dyadické (oktákové) vzorkování, při němž jsou uzlové hodnoty parametru určeny podle:

$$s = 2^p, \tau = 2^p k = s \cdot k, \quad \text{pro } p, k \in \mathbb{Z} \quad (3.8)$$

pak

$$\psi_{k,p}(t) = \frac{1}{\sqrt{2^p}} \Psi\left(\frac{t - 2^p k}{2^p}\right) = \frac{1}{\sqrt{2^p}} \Psi(2^{-p} t - k) \quad (3.9)$$

Díky tomu je měřítko vzorkováno v dyadické posloupnosti, zatímco časová osa je rozdělena rovnoměrně. Lze dokázat, že vzorky spektra v takto stanovených bodech nesou úplnou informaci o zdrojovém signálu. Ten může být tedy dokonale rekonstruován na základě diskretních koeficientů spektra. Hustota vzorkování spektrálních hodnot v čase se zmenšuje se vzrůstajícím měřítkem  $s$ .

### 3.2.3. Využití optických systémů ARAMIS

[9]

ARAMIS je bezkontaktní měřicí systém firmy GOM pro měření reálných 3D deformací. Výsledkem je barevná mapa rozložení deformací na objektu zatěžovaném buď staticky nebo dynamicky. Proces měření může být spouštěn v pravidelných časových intervalech (např. s prodlevou 1s) nebo může být řízen externím signálem (např. ze zatěžovacího stroje). Maximální rychlost snímkování může být až 8000 snímků za sekundu u systému HS. Při měření rotačních objektů se dá propojit více systémů ARAMIS do jednoho měřicího systému Obr. 3.2.3.



Obr. 3.2.3. Optický systém ARAMIS 5M

Tuto metodu lze efektivně využít k měření zrychlení, a tím v konkrétních případech je využitelná jako referenční metoda k porovnání nestacionárních signálu (časový okamžik bezprostředně po rázu), získaných z měření ze snímačů zrychlení.

## 4. Plánování inovace úchytu

### 4.1. Inovační příležitosti a záměr

#### Inovační příležitosti

- Uživatel může snadno využít tohoto jednoduchého přípravku
- Výrobek je ekologický, jednoduchý, má malé rozměry, je bez údržbový, snadno použitelný a výrobní náklady jsou zanedbatelné
- Místo standardního způsobu připevňování senzoru je využito mezi členů k eliminaci mikropohybu v soustavě.

#### Inovační záměr

Vytvořit silně degresivní vazbu mezi snímačem a měřeným objektem, která sníží nebo úplně eliminuje mikropohyb účastněných objektů.

### 4.2. Inovační prohlášení

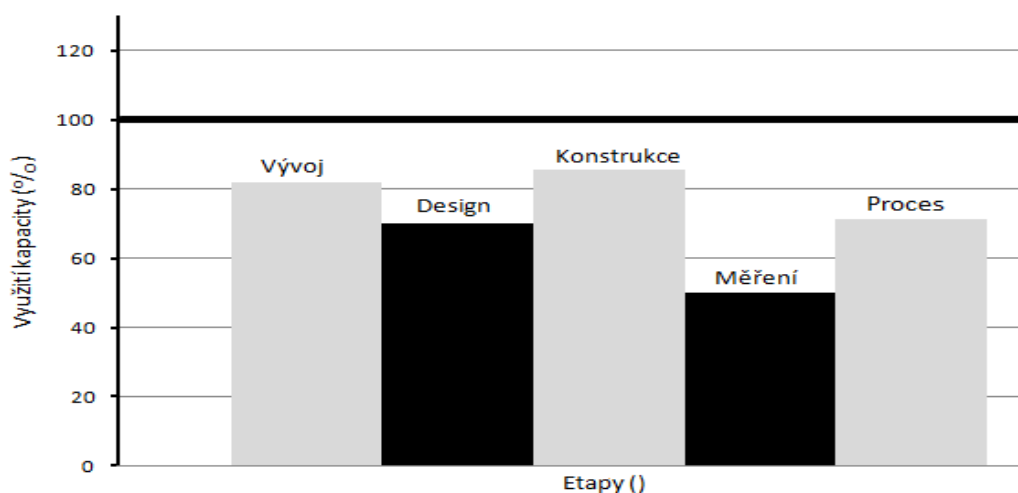
Tab. 4.2. Inovační prohlášení

Popis výrobku	Mechanický mezičlen mezi snímačem a měřeným objektem k eliminaci vysoko frekvenčních vibrací
Klíčové obchodní cíle	Odběr těchto výrobků velkoobchodními tuzemskými i zahraničními firmami zabývající se prodejem snímačů vibrací
Primární trh	Velkoobchody a obchodní specializované řetězce
Sekundární trh	Specializovaní drobní prodejci
Předpoklady a omezení	Využití v kombinaci se snímačem zrychlení
Účastníci inovačního procesu	Jakub Štros

### 4.3. Plán zdrojů

Tab. 4.3. Plán zdrojů

	Vývoj	Design	Konstrukce	Měření	Proces
<b>Projekt ( dny )</b>	13	14	25	10	23
<b>Potřeba zdroje ( dny )</b>	13	14	25	10	23
<b>Kapacita ( dny )</b>	16	20	29	20	32
<b>Využití kapacit ( % )</b>	82	70	86	50	71



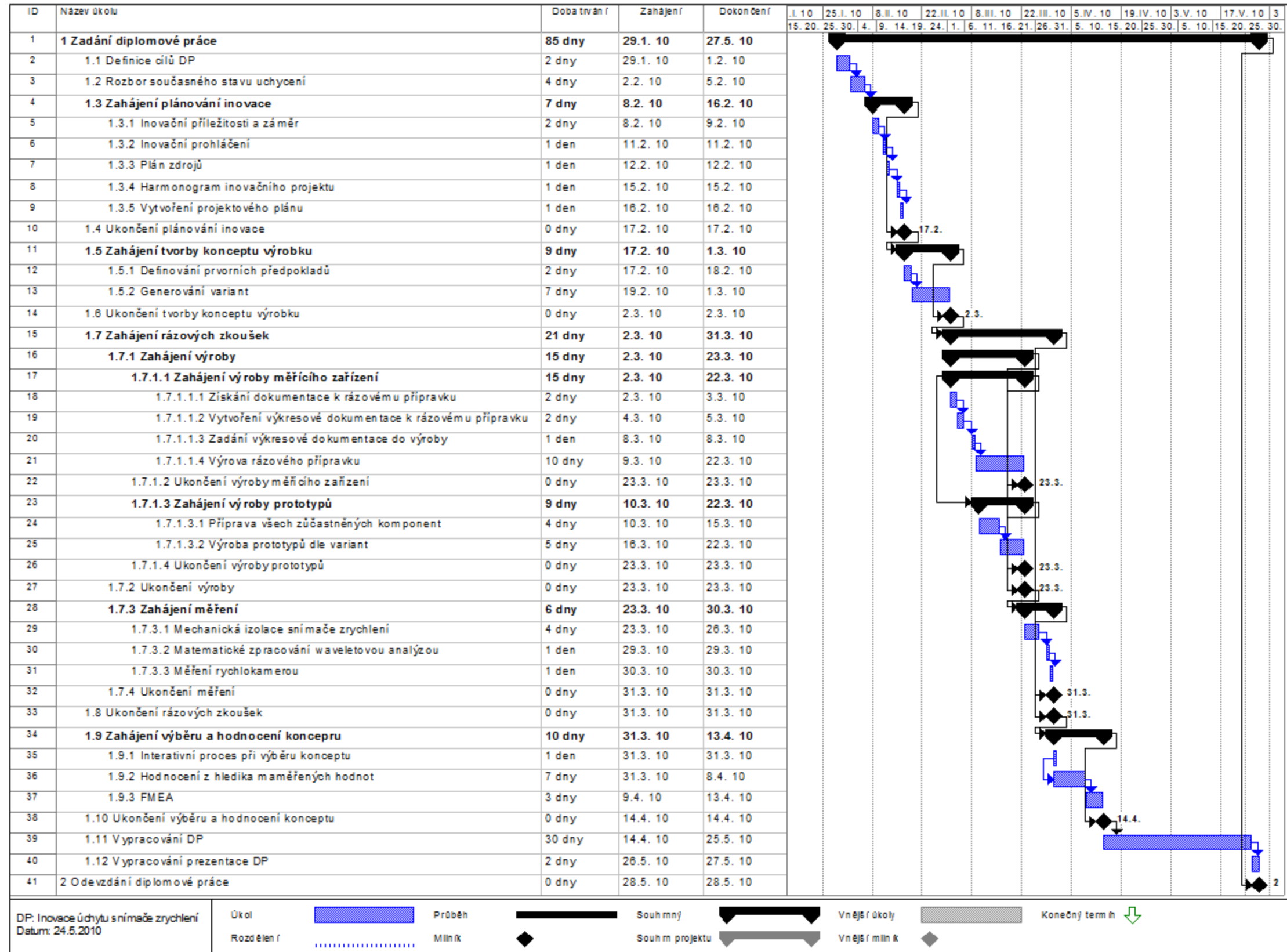
Obr. 4.3. Plán zdrojů

### 4.4. Harmonogram inovačního projektu

Tab. 4.4. Harmonogram inovačního projektu

Zadání úlohy						
Návrh výrobku						
Sled operací						
Výrobní dokumentace						
Zhotovení prototypu						
Měření						
Vyhodnocování						
Vypracování dokumentace						
	leden 10	únor 10	březen 10	duben 10	květen 10	červen 10

## 4.5. Projektový plán



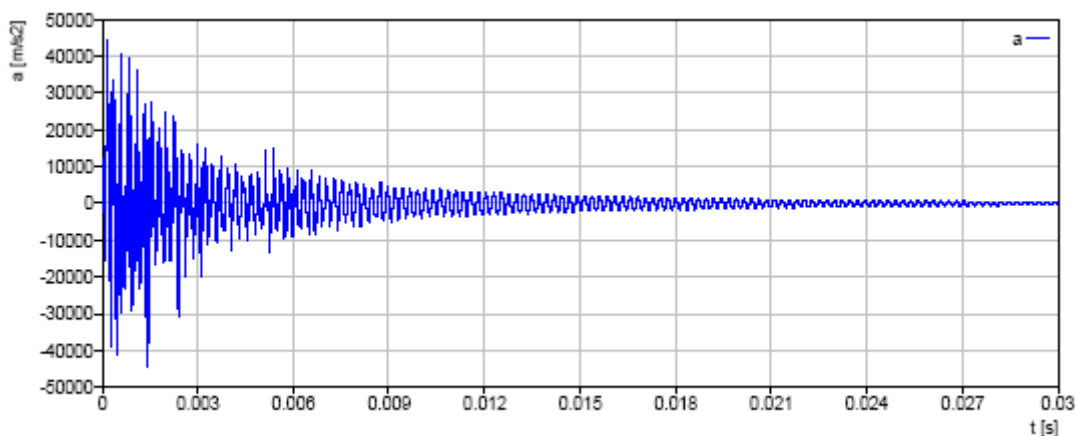
Obr.4.5. Projektový plán



## 5. Inovace úchytu snímače

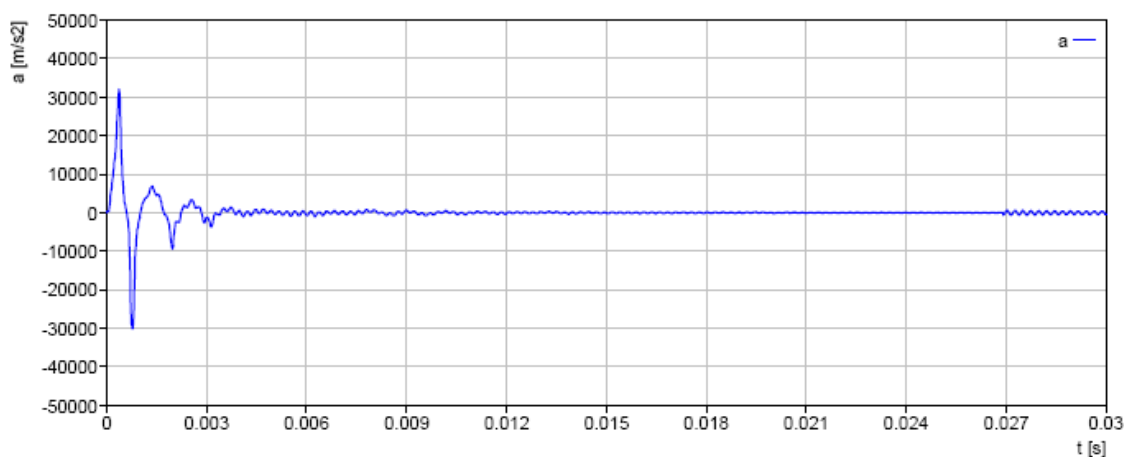
### 5.1. Separace signálu na makro a mikro pohyby

Na Obr. 5.1.1 (znázorňující prosté uchycení snímače bez tlumící vazby) je vidět, že daný signál obsahuje jak makro, tak mikro pohyby, které vytvářejí nežádoucí výchylky (v našem případě parazitní signál), které se složitě odstraňují.



Obr. 5.1.1. Signál obsahující makro i mikro pohyby

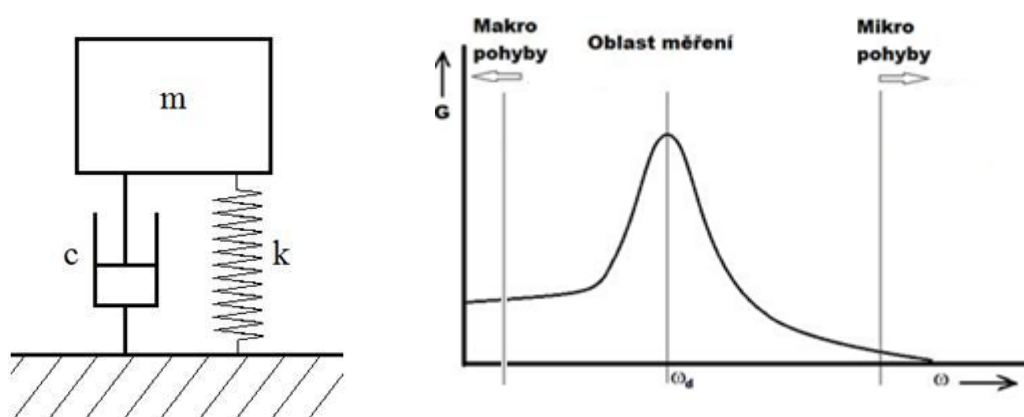
Na Obr. 5.1.2 je již patrné, že daný signál je tlumen a ze signálu jsou odstraněny mikropohyby (s využitím tlumící vazby mezi snímačem a měřeným povrchem je způsobeno, že klesá frekvence a amplitudy zrychlení mikropohybu a tím i vliv parazitního signálu). Tento signál zachycuje z velké části jen makropohyby, které přinášejí již konkrétní poznatky o měřeném objektu.



Obr. 5.1.2. Signál s eliminací mikropohyby

## 5.2. Eliminace parazitního signálu - Mechanické filtry

Tyto filtry ovlivňují výsledný signál již při samotném měření, kdy je využito konkrétních vlastností materiálů, mezi snímačem a měřeným objektem. Mezi zásadní vlastnosti patří ( tuhost, poměrný útlum, .. ). Souhrn těchto vlastností by měl splňovat určité podmínky, popsané v Obr. 5.2, k dosažení korektních výsledků.



Obr. 5.2. Model dynamického zatížení a graf výskytu makro pohybu

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}} \quad (5.1)$$

$$\sigma = \frac{c}{2m} \quad (5.2)$$

$$\omega_d = \sqrt{\omega_0^2 - \sigma^2} \quad (5.3)$$

K vytvoření mechanického filtru je zapotřebí mít veškeré informace o všech zainteresovaných členech a jejich vlastnostech. Jak lze vidět v Obr 5.1 a odvozených rovnic pro tuto vazbu ( mezi snímačem a měřeným objektem, vzorec 5.1-5.3), patří mezi nejdůležitější vlastnosti těchto členů: hmotnost snímače, tuhost a poměrný útlum uchycovacího mechanismu. Z daných rovnic vyplývá, že daná tuhost má být co nejnižší a poměrný útlum co nejvyšší, aby byla frekvence daných kmitů pod hranicí přechodu mezi makro a mikro pohybem.

### **5.3. Součastné metody uchycení snímačů**

V současné době se používá metod uchycení, u kterých se nijak nepředpokládá a nevyžaduje, že by vylepšovaly získaný výsledný signál, který by odděloval makro a mikro pohyby v soustavě (měřený objekt, upevňující mechanismus). Jen je kladen důraz na praktičnost a jednoduchost uchycení. Základní metody dnešních uchycení jsou následující :

- ❖ plochý montážní magnet
- ❖ dvoupólový montážní magnet
- ❖ lepidla (epoxydy/kyanoacryláty)
- ❖ závrtný šroub
- ❖ izolovaný šroub
- ❖ lepicí páska
- ❖ magnet

### **5.4. Tvorba konceptu výrobku**

#### **5.4.1. Prvotní předpoklady**

#### **Použité druhy materiálů**

Před zahájením projektu bylo stanoveno, že použité materiály mají mít vlastnosti (nízkou tuhost a vysoký útlum). Těmto vlastnostem se nejvíce přibližují plastické hmoty. Proto byly zvoleny materiály pro tlumící část a to PU pěna (polyuretanová pěna) a PE pěna ( Polyethylenová pěna ), viz. Příloha č.1.1 a č. 1.2 . Pro mezičleny a spojovací části mechanismu, bylo využito materiálů, jako Polyetylen (PE), Polypropylen (PP), samolepicí suchý zip ( z PO), tlustá lepicí páska,, slabá lepicí páska viz. Příloha č.1.3 až č.1.6.

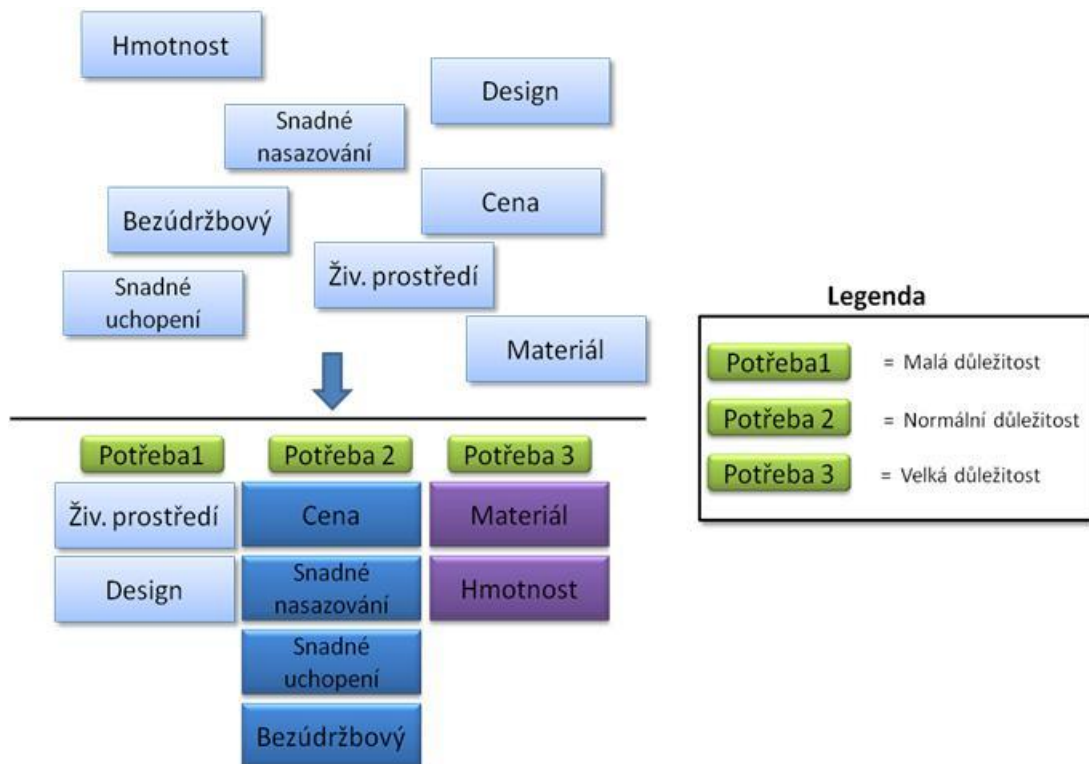
## Konstrukce

Konstrukce daného mechanismu, aby plnila funkce zadané funkce, musí splňovat určitá kritéria z hlediska fyzikálních a mechanických vlastností, ale i ekonomických vlastností. A to :

- ❖ Tlumit vysokofrekvenční vibrace
- ❖ Nízká hmotnost
- ❖ Nízká složitost konstrukce
- ❖ Jednoduchá manipulatelnost
- ❖ Nejnižší cena
- ❖ Jednoduchá recyklace

## Identifikace potřeb

Nejprve byly identifikovány potřeby vycházející z prvotních předpokladů, které byly následně interpretovány a uspořádány do různých úrovní významnosti. Do tzn. Afinního diagramu Obr. 5.4.1.



Obr. 5.4.1 Afinní diagram

Jelikož Afinní diagram neposkytuje dostatek informací o relativním významu jednotlivých potřeb, bylo nezbytně nutné vytvořit tabulku s relativním významem jednotlivých, viz Tab. 5.4.1.

Tab. 5.4.1. Relativní význam jednotlivých firemních potřeb

Číslo	Potřeba	Relativní významnost
1	Nízká hmotnost	4
2	Snadná obsluha nasazování	3
3	Pěkný design mechanismu	1
4	Nízká výsledná cena	3
5	Mechanismus šetrný k život. prostředí	2
6	Výběr vhodných materiálů	5
7	Bezúdržbový mechanismus	3
8	Snadné uchopení	3

## 5.4.2. Generování návrhu

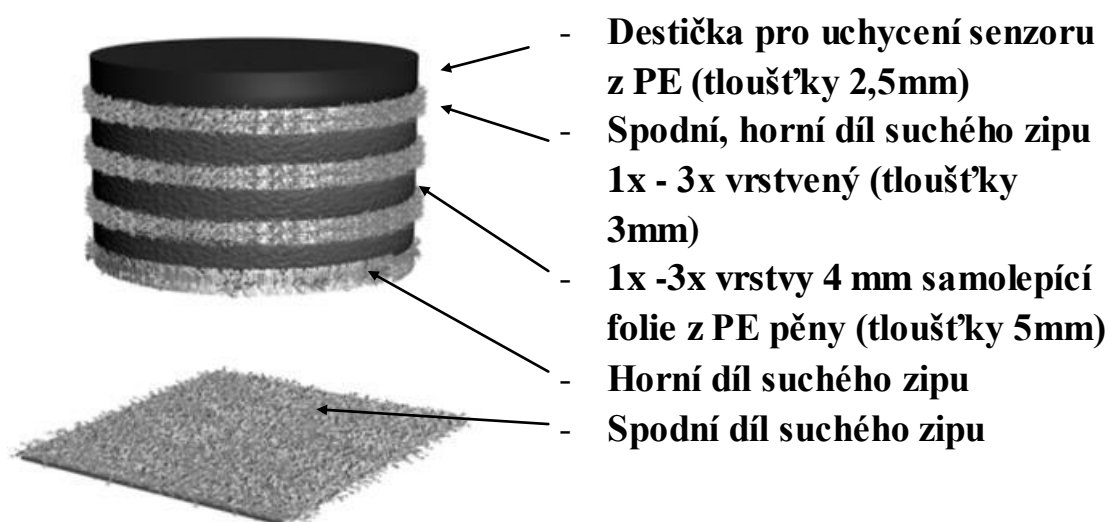
Z prvotních předpokladů byly vygenerovat dílčí varianty, které by měly vykazovat námi stanovené vlastnosti.

### 5.4.2.1. Varianta I



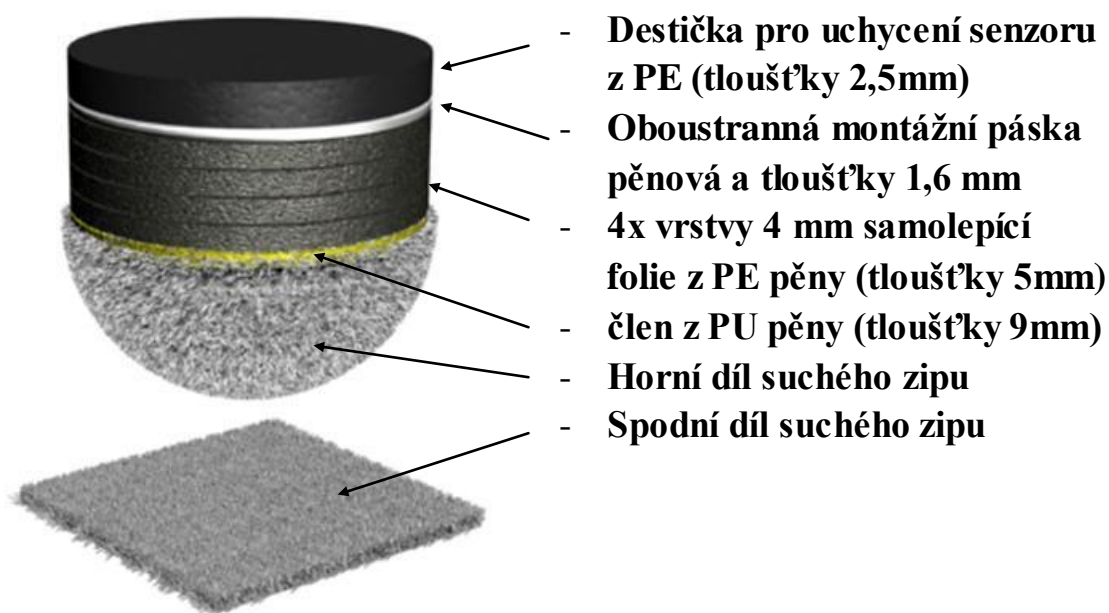
Obr.5.4.2.1. Varianta I

### 5.4.2.2. Varianta II



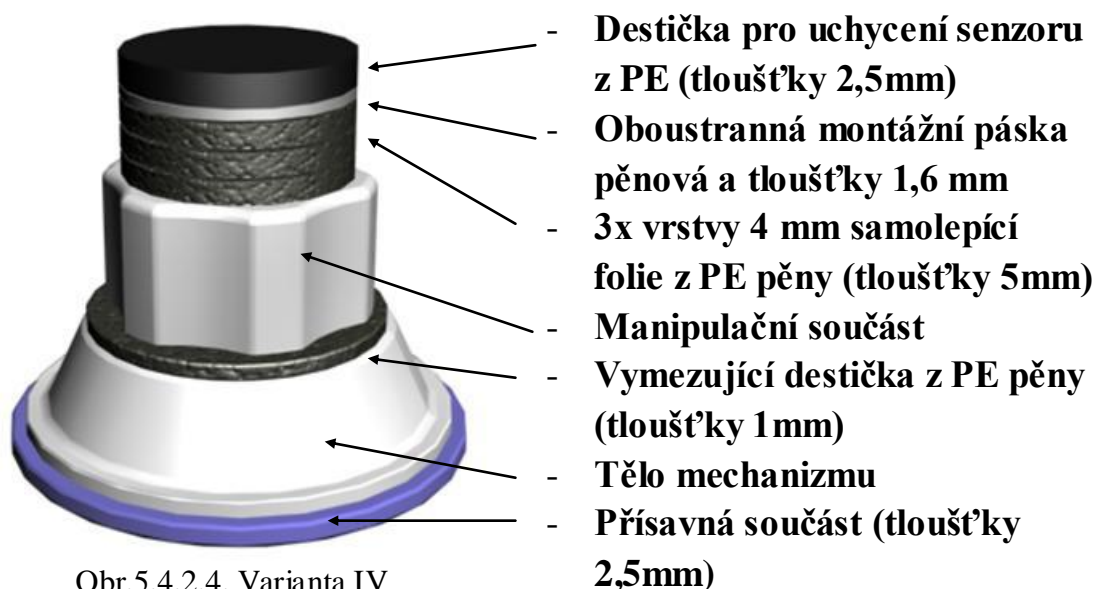
Obr. 5.4.2.2. Varianta II

### 5.4.2.3. Varianta III



### Obr.5.4.2.3. Varianta III

#### 5.4.2.4. Varianta IV



#### Obr.5.4.2.4. Varianta IV

#### 5.4.2.5. Varianta V

Tato varianta je složena z kombinace více vrstvených tlustých lepících pásek

## **6. Rázové zkoušky na přípravku**

### **6.1. Výroba prototypů a měřicího zařízení**

Výroba prototypu byla zhotovena manuálně, s použitím dílenských nástrojů. A to z polymerů (viz Příloha č.1.1-1.6 ). Snaha byla o to, aby dané zařízení vykazovalo potřebné vlastnosti a mělo ve výsledku co nejnížší hmotnost, a celková cena výrobku, byla opět co nejnížší. Jak z pohledu použitých materiálů, tak i následné sériové výroby.

Dané měřicí zařízení simulující rázové děje bylo navrženo Ing. Martinem Vančurou a po té vyrobeno v hydrodynamických dílnách katedry částí a mechanismů strojů, panem Josefem Válkem.



## 6.2. Mechanická izolace snímače zrychlení

Námi vytvořené prototypy byly podrobeny měření, které měly ukázat, jestli vykazují všechny požadované vlastnosti. Pro proces měření, bylo voleno zařízení viz. Obr. 6.2.1, které umí vyvolat prostředí rázového děje.

Zkušební prototypy byly postupně upevněny na dané zařízení, následujícími metodami : šroubovým spojem, slabá oboustranně lepící páska, pěnová páska, suchého zipu a přísavného mechanismu. K měření bylo využito snímače zrychlení (Obr. 6.2.2) uchyceného přes vygenerované varianty na přípravek. Poté proběhlo samotné měření, kdy zařízení vygenerovalo rázovou vlnu, která se snímala a dále byla zaznamenána pomocí měřicího systém DAWE 5000 Obr. 6.2.3. , ve formě průběhu  $a=f(t)$ .



Obr.6.2.1 Měřicí zařízení



Obr.6.2.2. Snímač 4326 A 001



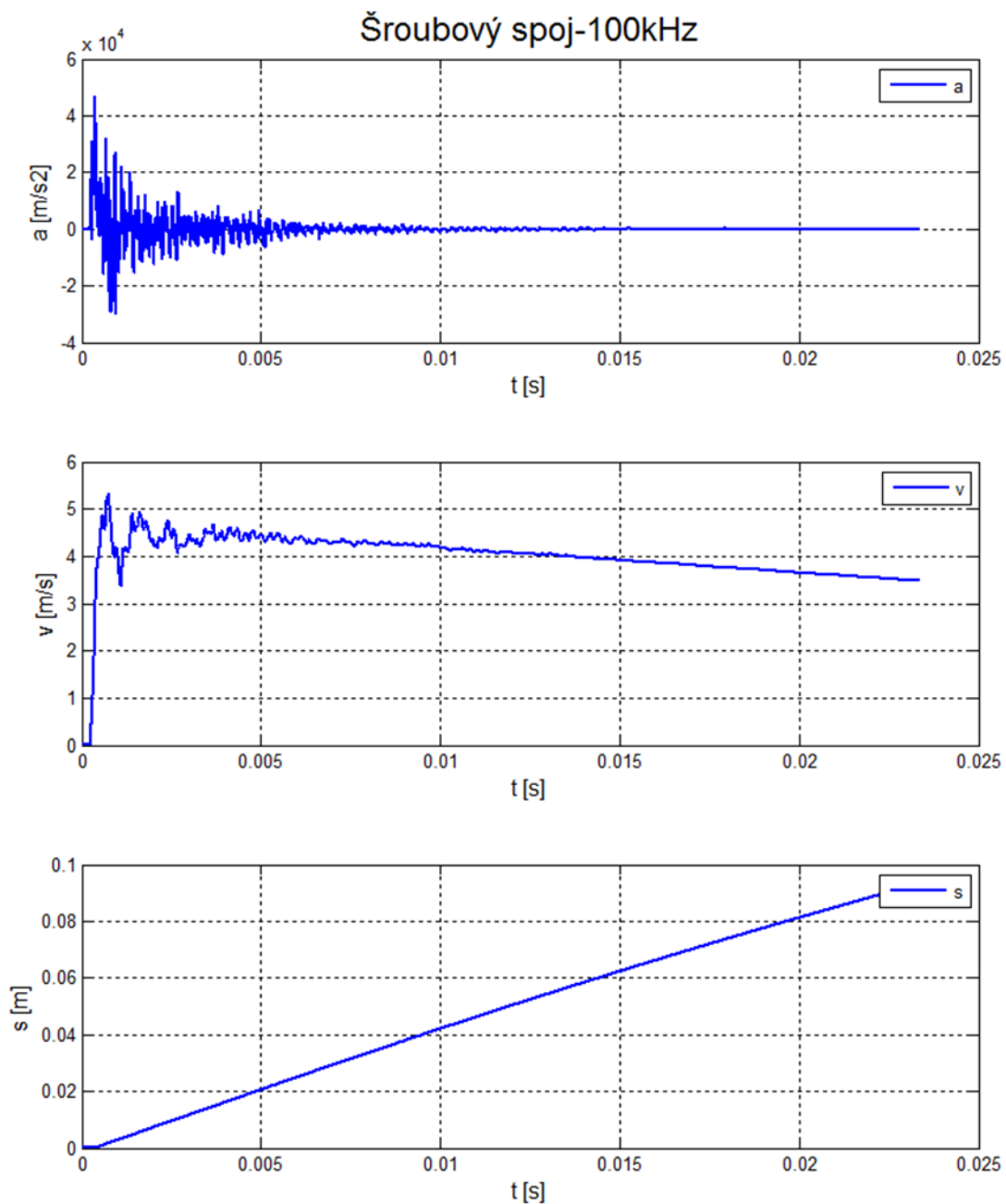
Obr.6.2.3. Měřicí systém DAWE5000

### 6.2.1. Měřicí aparatura

Měření bylo provedeno v laboratořích Technické univerzity v Liberci v Doubí a bylo použito následující konfigurace a nastavení měřicí aparatury:

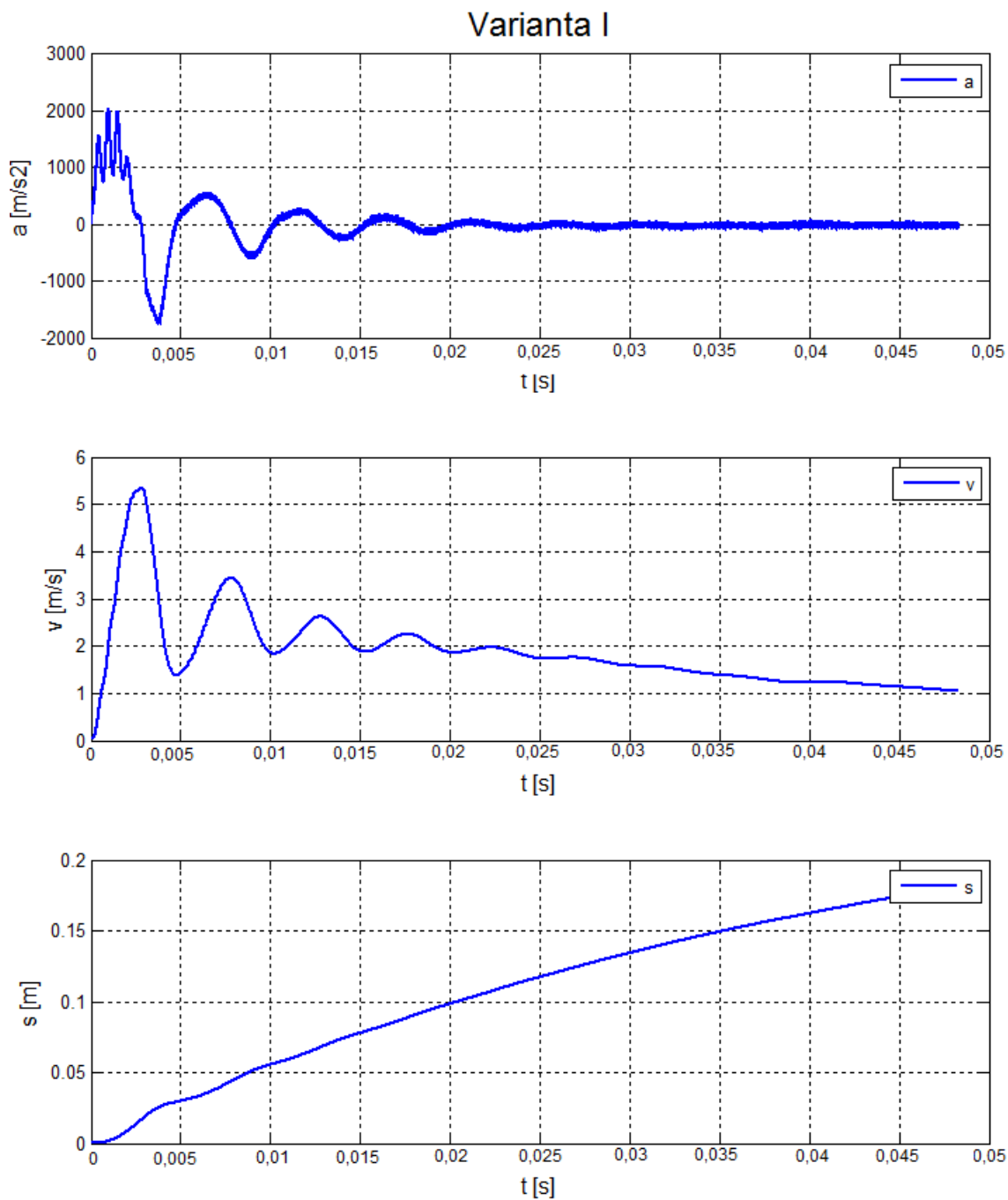
- ❖ základní měřicí zařízení - Dewetron DEWE5000
- ❖ zesilovač - DAQP-Bridge-B
- ❖ zesílení (citlivost) :  $0,3083\text{pC/ms}^{-2}$
- ❖ vzorkovací frekvence 10kHz
- ❖ měřicí karta Dewetron ORION 1616-500 - 16kanálů
- ❖ 16ti bitové A/D převodníky

## 6.2.2. Výsledky z měření mechanické izolace



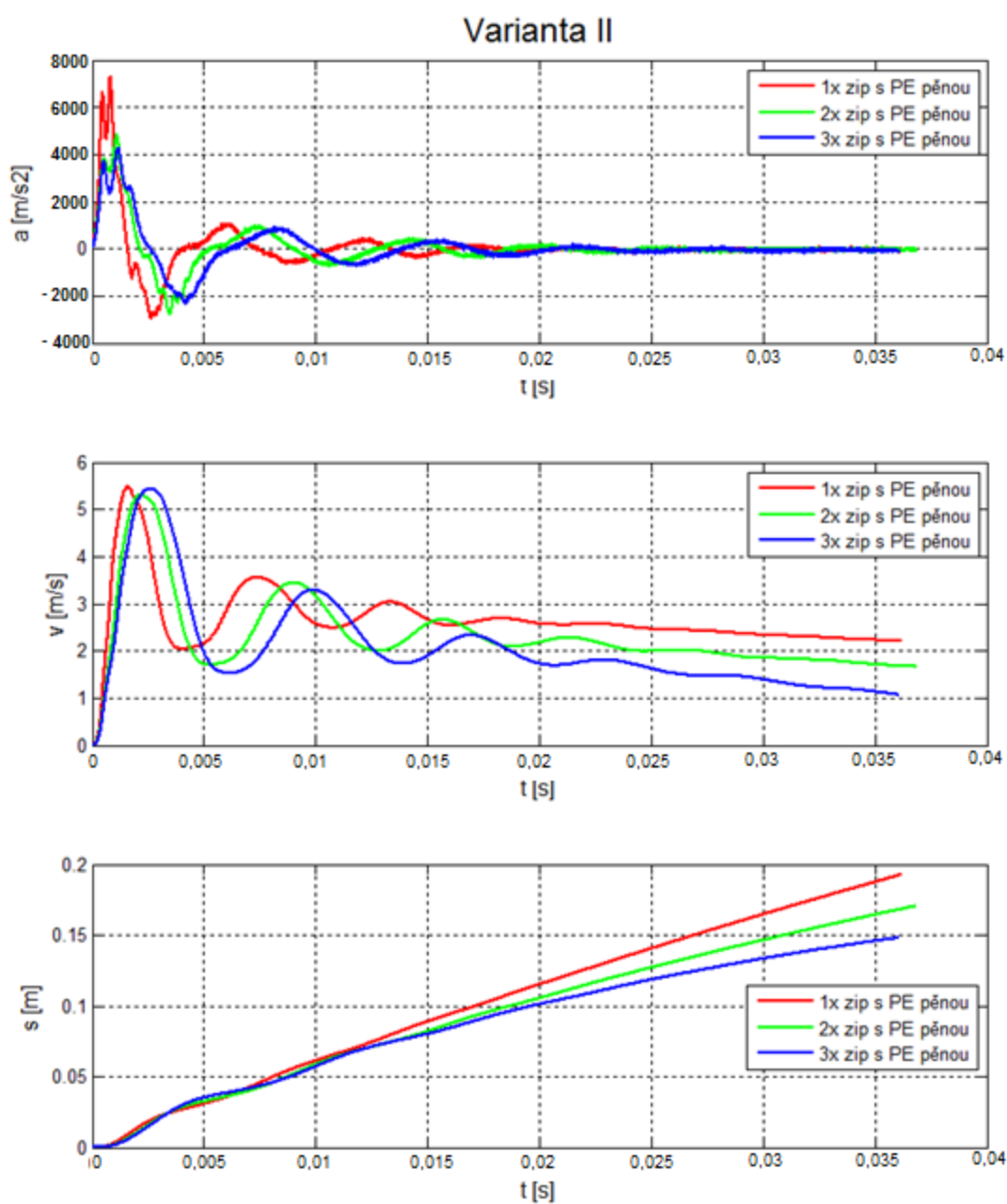
Obr. 6.2.4. Šroubový spoj – vz. frek. 100kHz

## Varianta I



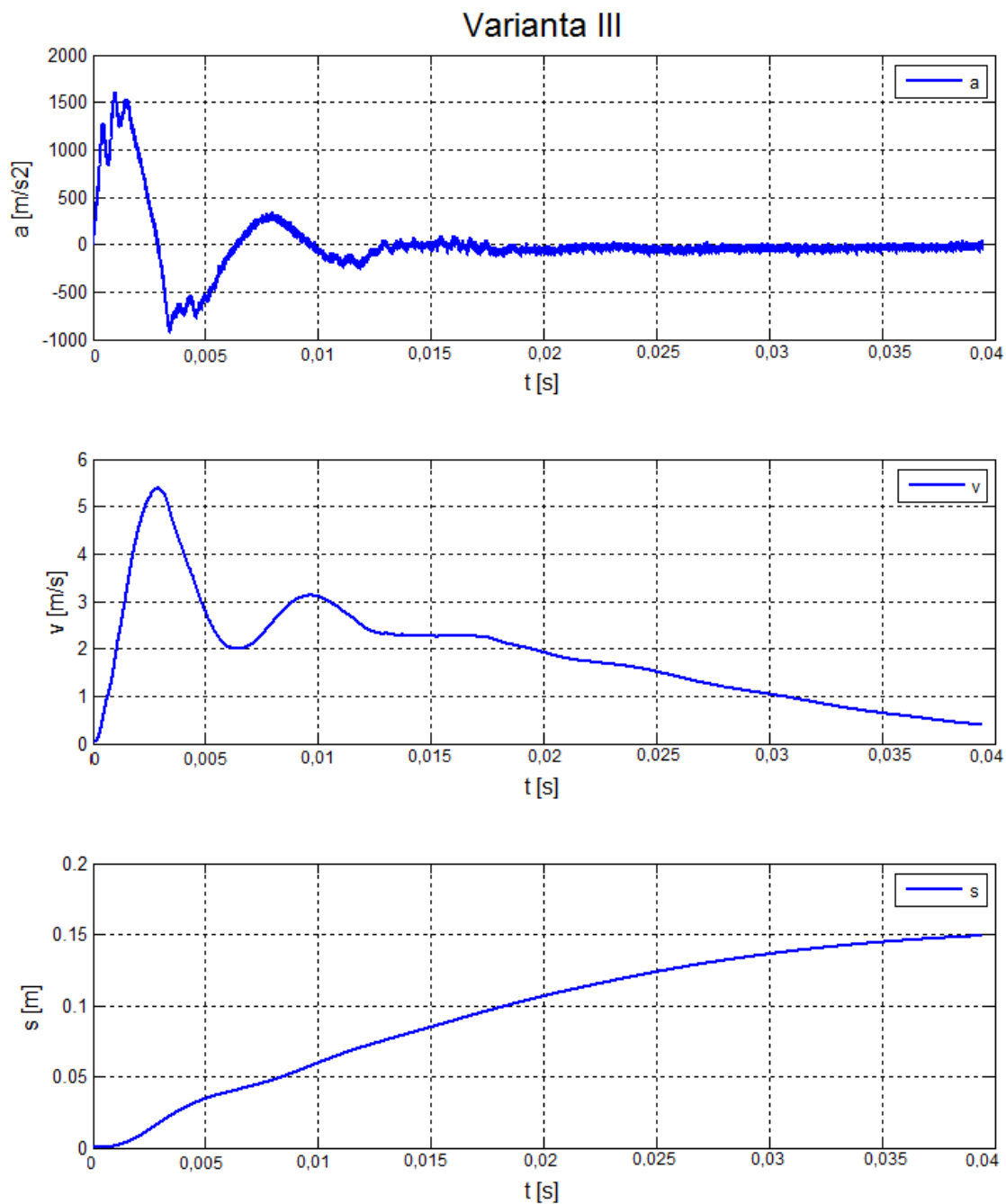
Obr. 6.2.5. Varianta I – vz. frek. 100kHz

## Varianta II



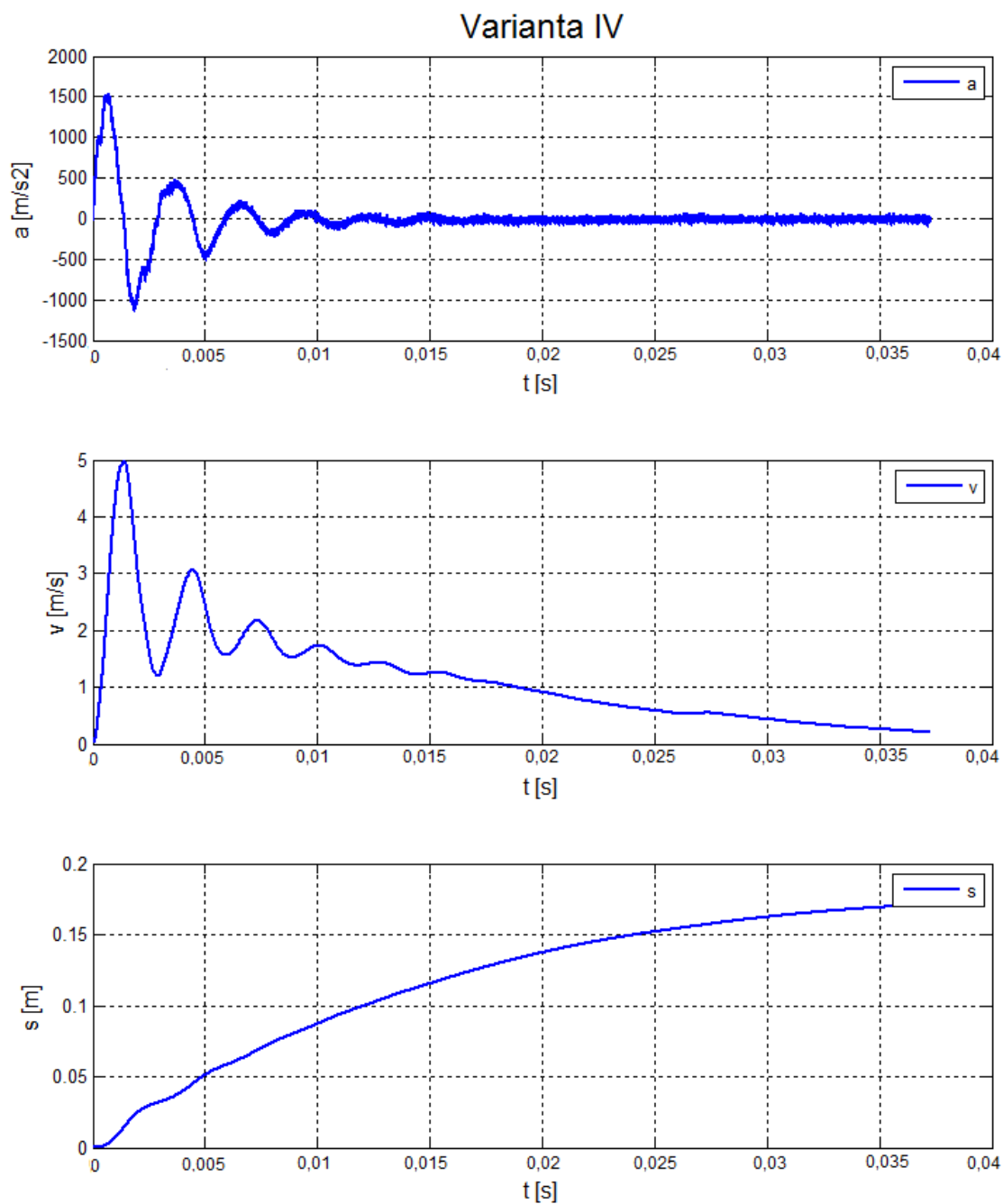
Obr. 6.2.6. Varianta II – v z. frek. 100kHz

## Varianta III



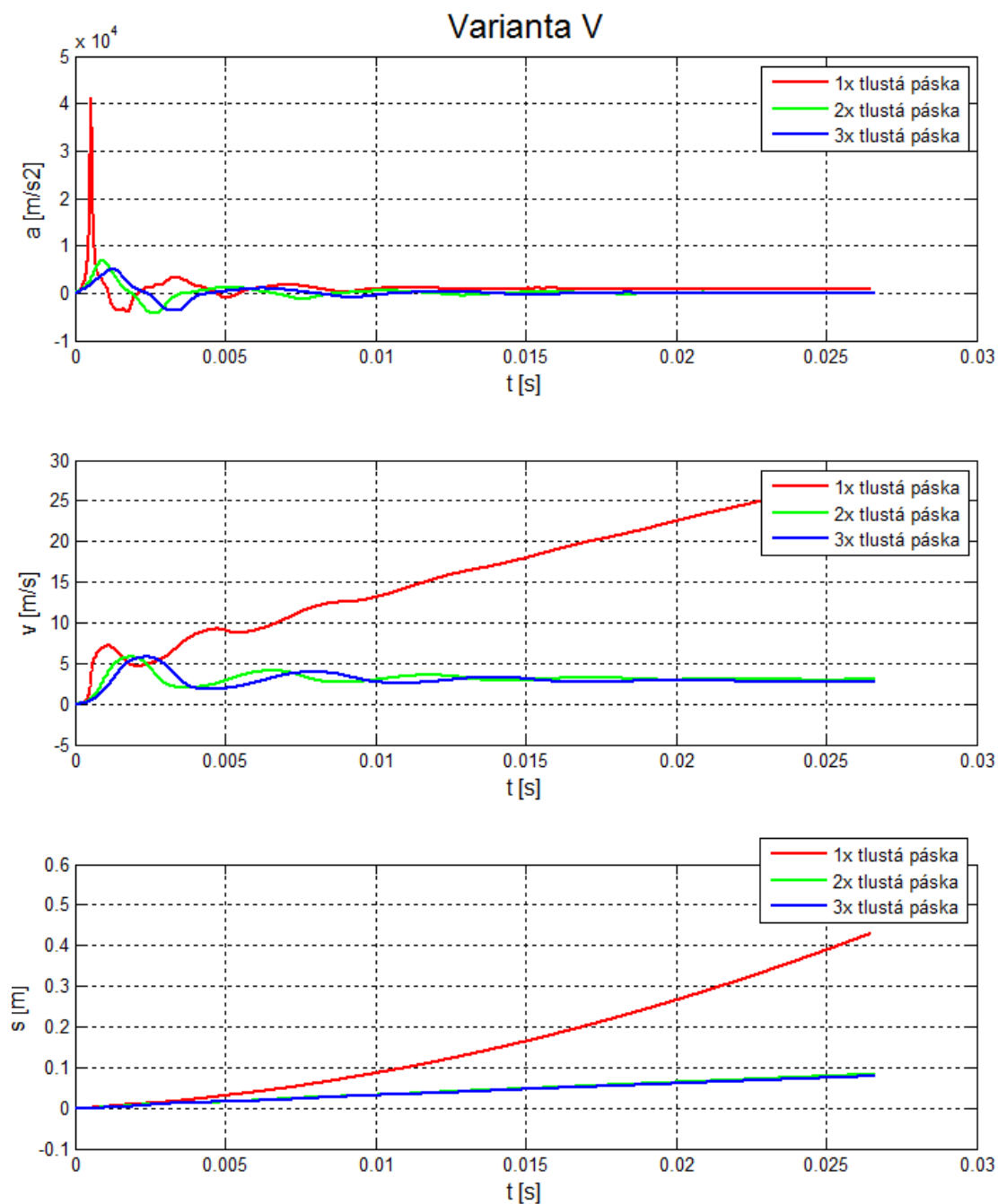
Obr. 6.2.7. Varianta 3– vz. frek. 100kHz

## Varianta IV



Obr. 6.2.8. Varianta IV– v z. frek. 100kHz

# Varianta V

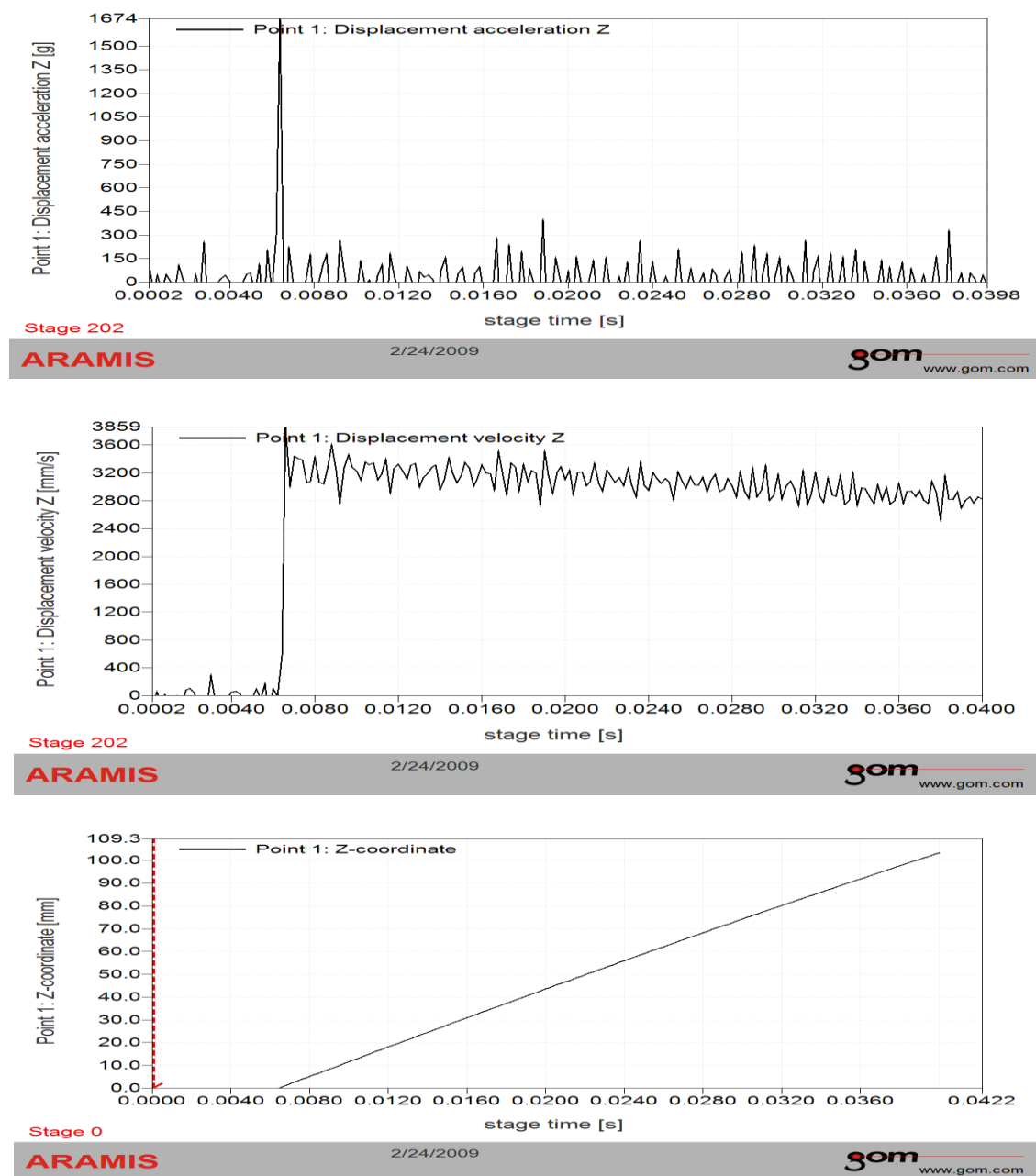


Obr. 6.2.9. Varianta V– vz. frek. 100kHz



## 6.1. Měření rychlokamerou

Měření bylo provedeno na systému ARAMIS s dvěma rychlokamerami, v časovém sledu, s frekvenčním záznamem 5kHz. Který snímá prostorové souřadnice, polohy bodu vyznačeného na měřeném přípravku (simulující rázový děj). Z tohoto měření kinematických veličin byl zhotoven časový průběh zrychlení, rychlosti a dráhy (Obr. 6.4)

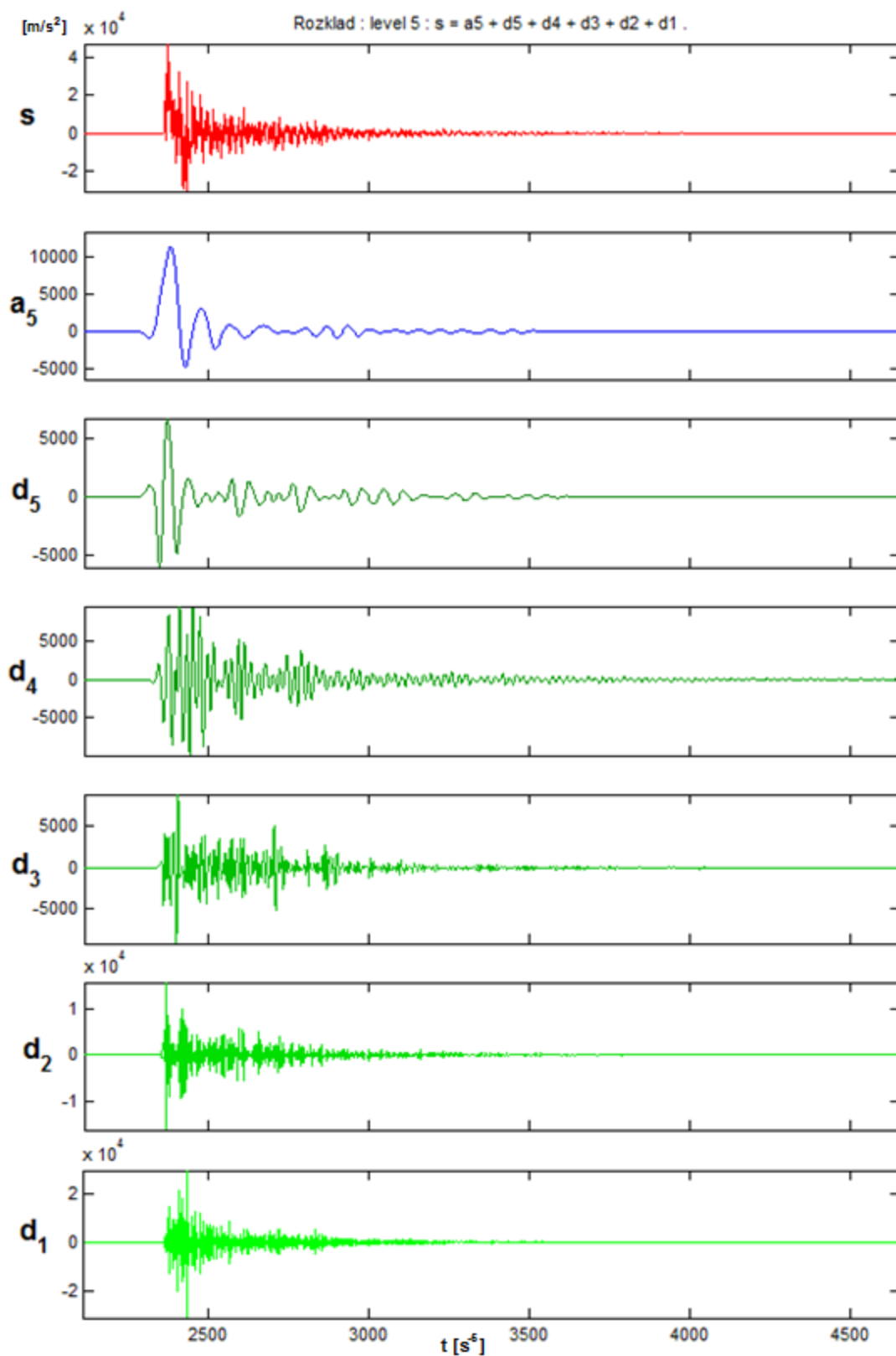


Obr. 6.4. Měření na systému ARAMIS – vzorkovací frekvence 5kHz

## 6.2. Matematické zpracování waveletovou analýzou

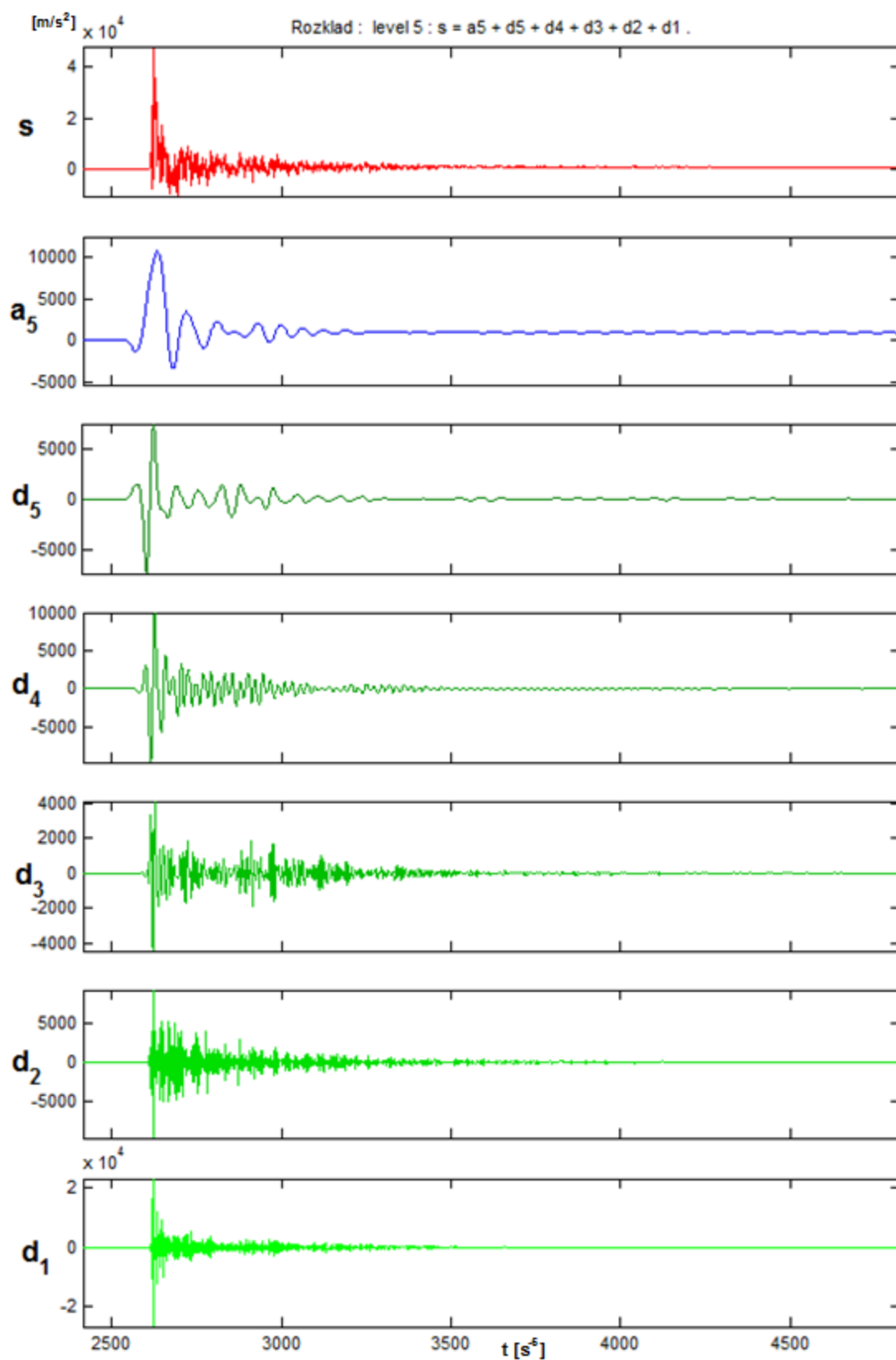
Waveletova transformace nepopisuje jen periodické funkce sinus a cosinus, na rozdíl od Fourierovy transformace, ale dá se využít i na nestacionární signály a rázové děje. Tato transformace byla zhotovena pomocí MATLAB Toolboxes Wavelet, který poskytuje mnoho variant nastavení. Byl nastaven Biorthogonal filtr 3,5 a level 4-6. Pro transformování byly vybrány signály : šroubový spoj, 1x vrstva lepicí pásky, 1x lepicí páska na BHF90, Varianta II.

## Šroubový spoj



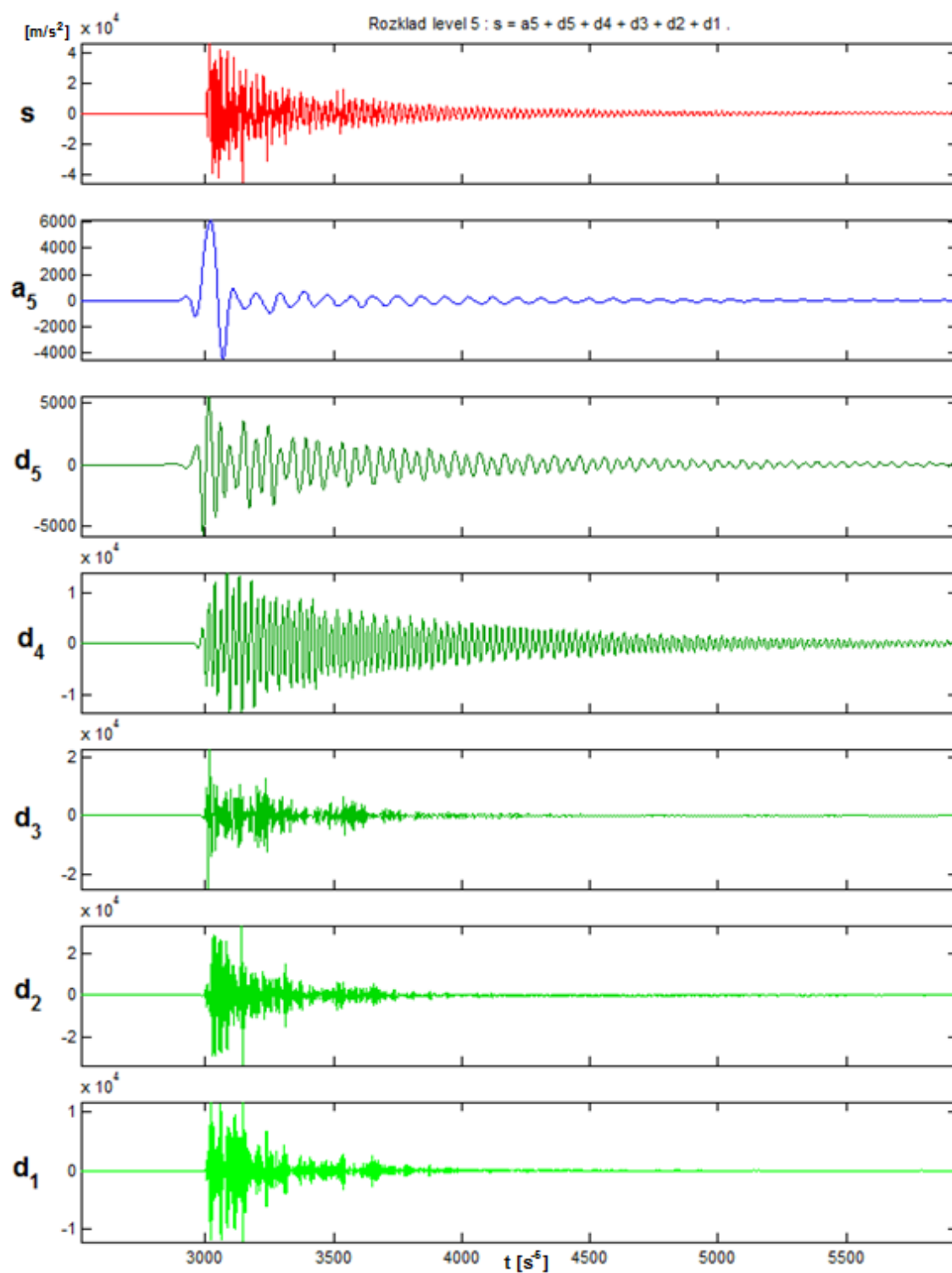
Obr. 6.3.1 Waveletova transformace – Šroubový spoj

## Slabá páska



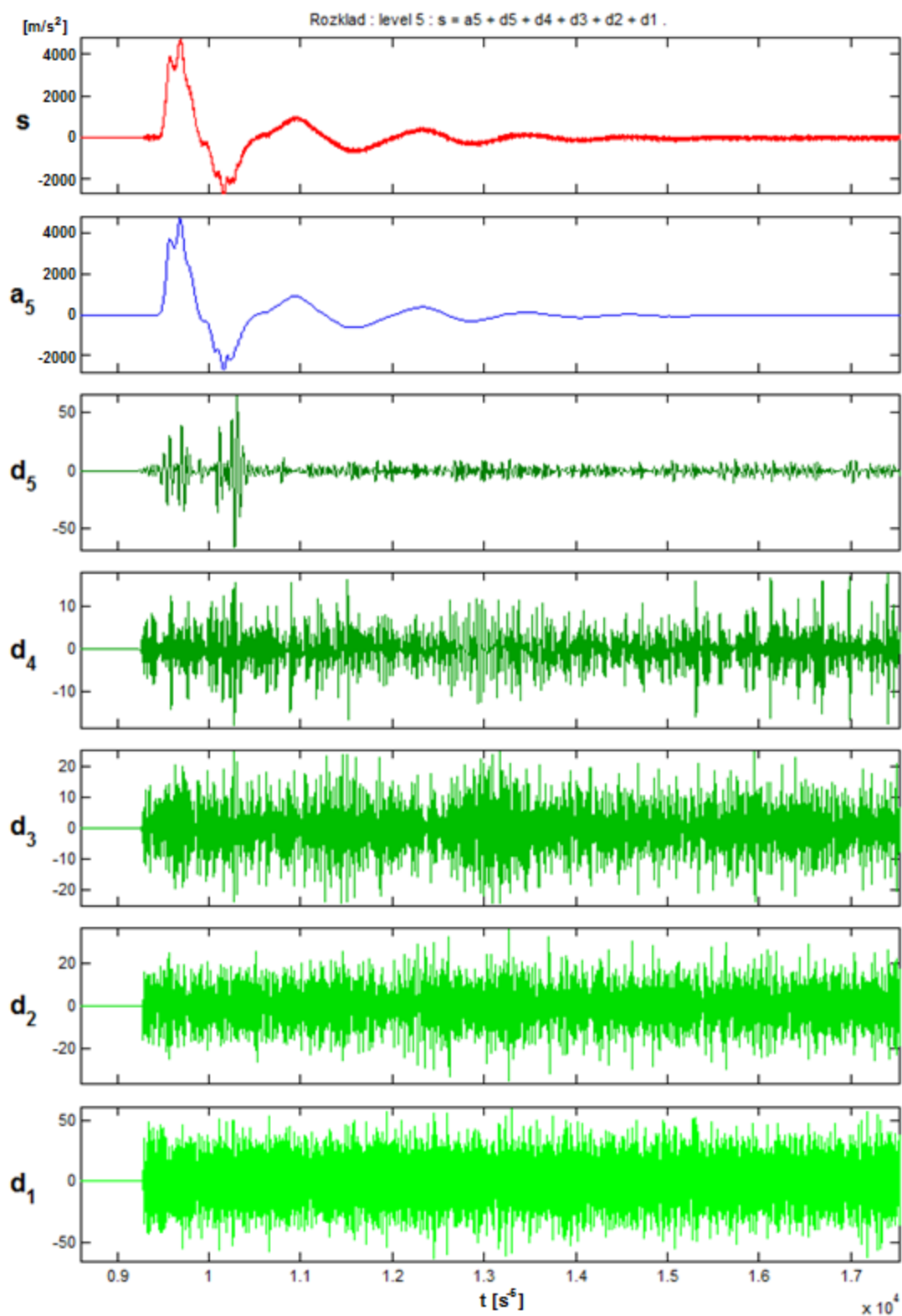
Obr. 6.3.3. Waveletová transformace – 1x slabá páska

## 1x slabá páska –snímač BHF90



Obr. 6.3.4. Waveletova transformace – Varianta II

## Varianta II



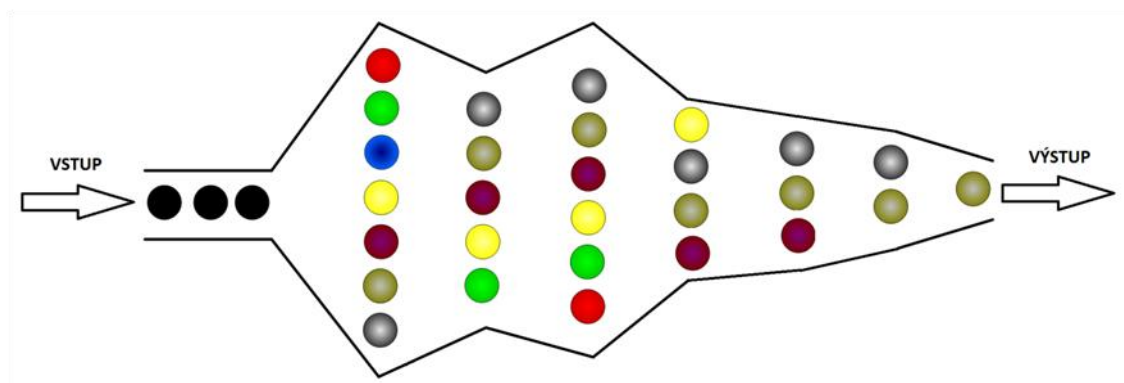
Obr. 6.3.4. Waveletova transformace – Varianta II -3x zip

## 7. Výběr a hodnocení konceptů

Výběr finálního konceptu byl více vztažen na získané hodnoty z měření, které musejí vykazovat specifické vlastnosti, aby mechanismus plnil svou správnou funkci. V kombinaci s vlastnostmi (např. skladnost, hmotnost,...), které je opět nutno vyhodnotit (např. za účelem co nejnižší ceny, ...).

### 7.1. Iterativní proces při výběru konceptu

Výběr konečného konceptu je interaktivní proces Obr.7.1, který zahrnuje zhodnocení vygenerovaných dílčích návrhů variant, porovnáním jednotlivých variant a výběrem jedné optimální varianty pro další rozvíjení.



Obr. 7.1. Iterativní proces při výběru konceptu

Výběr konečného konceptu se dá hodnotit řadou metod, v tom to případě byla volena metoda výběru, optimální varianty na základě rozhodovací matice (zde pomocí rozhodovací tabulky Tab. 7.1.). Která vychází z hodnocení každé varianty na základě stanovených kritérií, které mají různé váhy. Jako nejlepší z tohoto hodnocení vychází varianta číslo II. Kde součet jednotlivých kritérií významnosti vykazuje nejvyšší hodnoty.

Tab. 7.1. Rozhodovací tabulka

Kritérium	Varianty				
	I	II	III	IV	V
Kvalita signálu	2	5	2	5	6
Variabilnost	4	5	7	5	6
Manipulatelnost	5	8	6	8	4
Životnost před.	5	7	5	6	5
Jednoduchost výr.	3	6	3	4	7
Hmotnost	5	6	5	4	7
Cena	5	7	5	5	8
Součet	29	44	33	37	43
Pořadí	5	1	4	3	2
Další postup	ne	ne	ne	ne	ne

## 7.2. Analýza spolehlivosti – FMEA

Z předchozí kapitoly vyplývá, že jako nejlepší varianta vychází číslo II. Z těchto důvodů byla provedena FMEA pouze pro danou vybranou variantu. FMEA byla zhotovena z hlediska montáže a výroby.

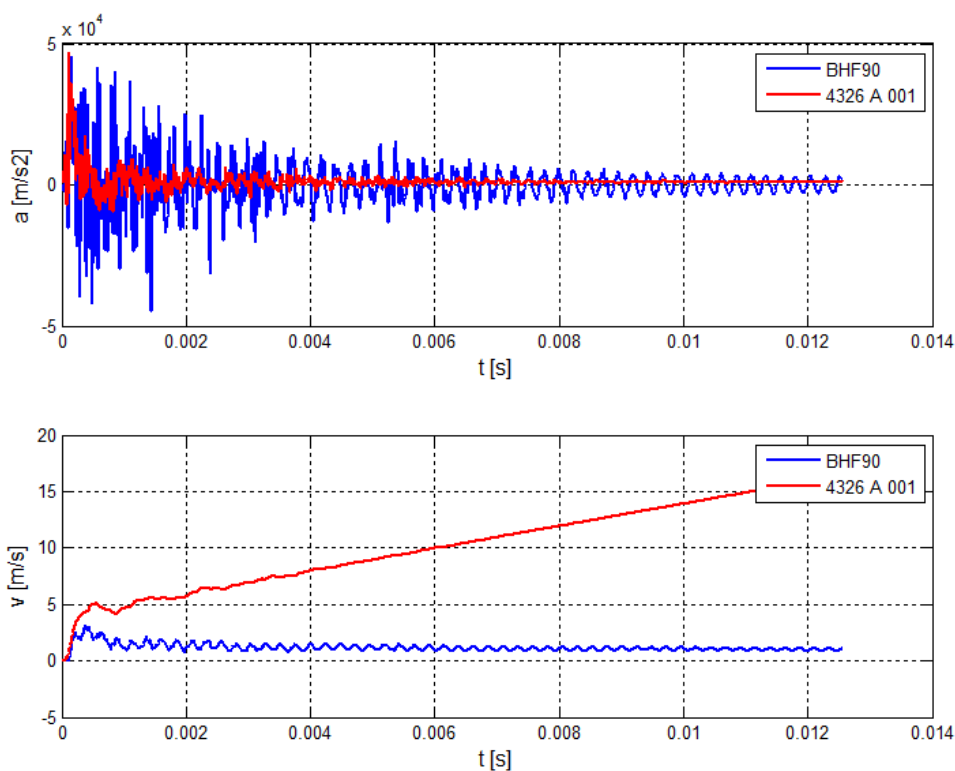
Tab. 7.2. Analýza spolehlivosti - FM

Název FMEA								Datum konání FMEA	
Inovace úchyty snímače zrychlení - Varianta II								26.5.2010	
Předmět FMEA								FMEA-Stav	
Montáž Varianty II								průběžná	
FMEA Tým / FMEA Team									
Jakub Štros									
Funkce	Možná chyba	Možný důsledek	Příčina	Kont. , prev. opatření	Vznik	Význa	Odhad	Možné riziko	Doporučená opatření
Montáž	nesprávné díly	montáž není možná	menší pozornost pracovníka	oddělit montážní linky	8	2	2	32	bez opatření
	nedolepené díly	špatná soudržnost	nepozornost prac. , nesprávně nanesené lepidlo	proškolení zaměstnanců	3	2	2	12	bez opatření
	špatná pozice nalepených dílů	špatný design a funkce	rozdílné díly a nedostatečná kontrola	montážní přípravky	5	5	3	75	informovat konstrukci
	poškozená PE pěna	montáž není možná	pozornost pracovníka	vizuální kontrola	3	2	1	6	informovat dodavatele
	malá přitlačná síla na zip	špatná soudržnost	pozornost pracovníka	vizuální kontrola	4	7	5	140	bez opatření
	nesprávná kombinace zipů	montáž není možná	nepozornost pracovníka	100 % vizuelní kontrola	5	4	2	40	bez opatření
	vzduchové mezery	špatná soudržnost	opětovná montáž	proškolení zaměstnanců	3	7	6	126	bez opatření



### 7.3. Hodnocení z hlediska naměřených hodnot

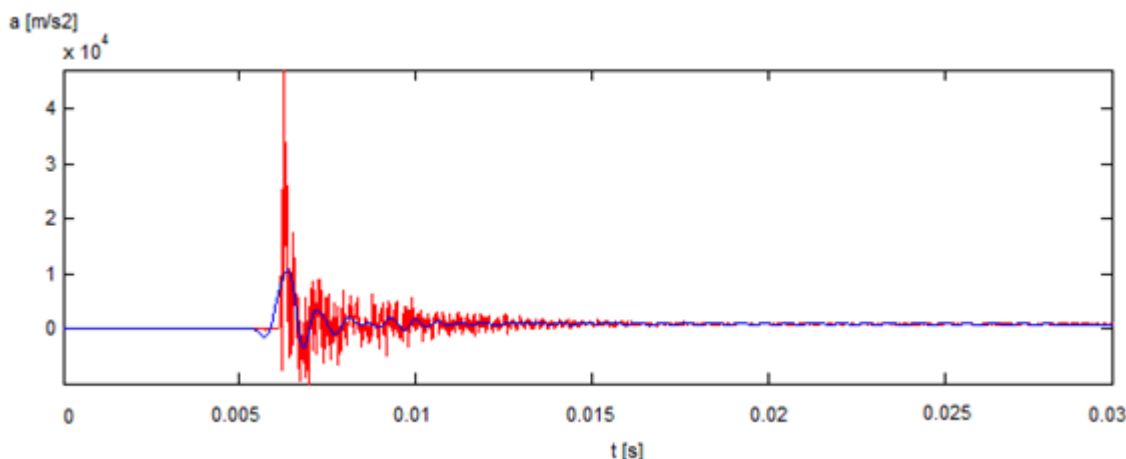
➤ V první fázi byly změřeny (ověřeny) vygenerované varianty na rázovém kyvadlu. Z měření bylo vysledováno že, daný snímač měl příliš velkou hmotnost a rozměry, což se projevilo nižší výskytem výchylek zrychlení v měřeném signálu. To se nejvíce projevilo při měření bez mechanické vazby mezi snímačem a měřeným objektem. V konkrétním případě slabé lepicí pásky. Z těchto důvodů bylo měření provedeno i na snímači s nižší hmotností a rozměry (snímač BHF90) a hodnoty porovnány Obr. 7.3.1. Z těchto poznatků se došlo k závěru, že snímač s větší hmotností a rozměry není schopen zachytávat veškeré mikropohyby ( parazitní signály ) a tudíž v tomto provedení není vhodný na měření rázů (je třeba modifikace).



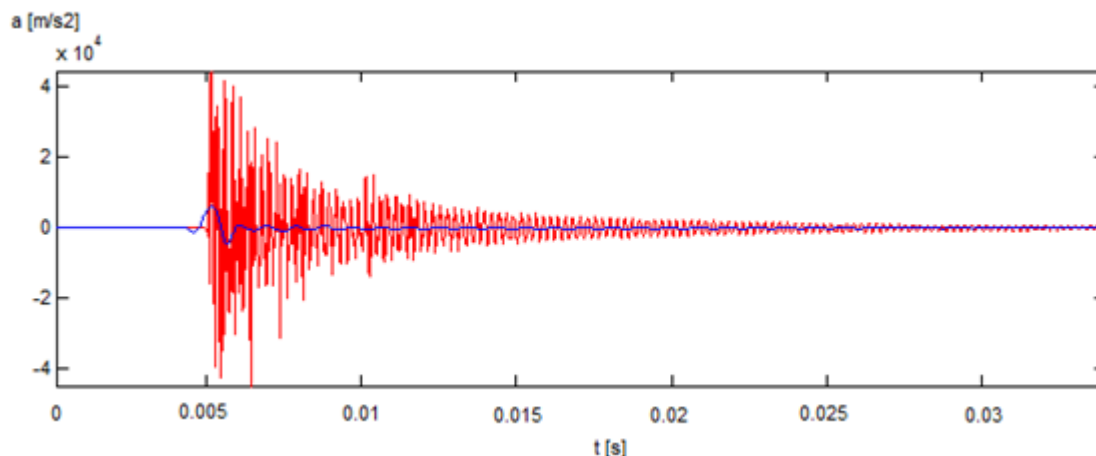
Obr. 7.3.1. Porovnání snímačů – uchycení = lepicí tenká páska

➤ V druhá část bylo provedeno měření na optickém systému ARAMIS, kde byl na daný měřicí přípravek nanesen bod, který byl snímán optikou a zachycoval průběhy zrychlení. Tato metoda se ukázala být využitelná k měření rázových dějů a tudíž lze nasadit jako jednu z korekčních metod k měření na měřeném přípravku.

➤ Ve třetí části měření byla provedena Waveletova analýza u vybraných signálů (šroubový spoj, slabá lepicí páska a 3x zip + PE). Nejprve byla analýza aplikována na signály reprezentující současně metody uchycení a bylo potvrzeno, že s využitím waveletovou anlyzou se nedosáhne korektních hodnot, při tomto typu snímače (4326 A 001). Což potvrdilo předchozí poznatky. Na Obr. 7.3.2 je znázorněn výsledek waveletovy transformace ( pro 1x slabou lepicí pásku) s využitím snímače 4326 A 001. a porovnán s výsledky ze snímače BHF90 Obr. 7.3.3

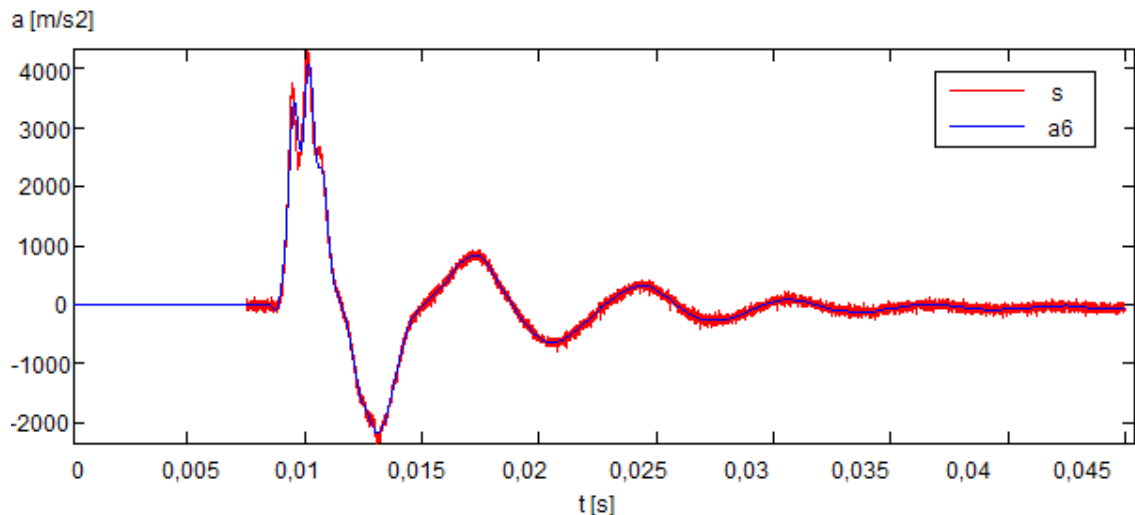


Obr. 7.3.2. Wavelet původního signálu s a a signálu a5 snímače 4326 A 001 – uchycení lepicí páska



Obr. 7.3.3. Wavelet původního signálu s a a signálu a5 snímače BHF90 – uchycení lepicí páska

Z waveletovy analýzy aplikované na Variantu II - 3x zip + PE je zřejmé, že odfiltrovaný signál se nějak výrazně s využitím waveletovou analýzou nemění, signál se jen odšumí Obr. 7.3.4. Což opět potvrzuje , že byl zvolen správný tip filtru.



Obr. 7.3.4. Wavelet původního signálu  $s$  a a signálu  $a_5$  snímače 4326 A 001 – Varianta II -3x zip

Z měření z Waveletovy transformace v programu MATLAB Toolboxes Wavelet, bylo také zjištěno, že daný program nedovede korektně zpracovat signály, které byly snímány frekvencí 10kHz. Z těchto důvodů byla konečná vzorkovací frekvence volena 100kHz.

Dále bylo potvrzeno, že Waveletovu analýzou lze korektně zpracovávat rázové nestacionární signály a tedy ji lze využít jako kontrolní metodu získaných signálů z měření na rázovém kyvadlu. V našem případě byl volen jako kontrolní signál z waveletovy analýzy a to : 1 x slabá lepící páska měřená snímačem BHF90.

## 8. Závěr

Tato diplomová práce potvrdila předpoklady, že mechanická filtrace je výhodnější, než matematická. Nejen že se daný signál filtruje již při samotném měření a není tudíž za potřebí dalších softwarů, ale přináší kvalitnější výstupní hodnoty, než-li z matematické filtrace. Matematická filtrace je velmi závislá na druhu volených filtrů a jejich použití. Nejvýhodnější se zdá být využití Waveletovy analýzy, která dovoluje zpracovávat i nestacionární signály. I přes správně volený filtr, přináší matematická filtrace do výsledného signálu určitá zkreslení.

Z našich vygenerovaných variant vyplývá, že daný uchycovací prvek by měl mít co nejnižší hmotnost a rozměry, aby negativně neovlivňoval měření výsledného signálu. Z toho vyplývá, že hmotnost a rozměr daného snímače je také zásadní faktor k získání správných hodnot. Což se prokázalo v průběhu měření, kdy byl použit snímač s vyšší hmotností a rozměry, který nebyl schopen zaznamenat veškeré výchylky při rázovém ději, a tudíž byl volen i snímač jiných parametrů a následné hodnoty porovnány.

Jako nejlepší ze zmíněných variant vychází varianta číslo II, která je založena na kombinaci a vrstvení suchého zipu a polyethylenové pěny. Daná varianta vykazuje v získaném signálu určité výchylky, i přes které je daný signál korektní. Tento závěr byl potvrzen zmíněnou waveletovou analýzou, kde byl porovnán výsledek se získaným signálem z varianty II. Počáteční signál pro waveletovou analýzu byl opět zkontrolován s měřením na optické rychlokameře, a následně i porovnán s měřením na rázovém zařízení. Konečné rozhodnutí pro výběr této varianty, nebyl jen z hlediska výsledného signálu, ale hodnotily se i ekonomické i konstrukční vlastnosti.

Pravděpodobně nejdůležitější faktor, který přináší použití mechanického filtru je to, že lze využít snímačů s nižším rozsahem měření. Kde se snižujícím rozsahem se snižuje i pořizovací cena, daného snímače, a naopak se zvyšuje životnost snímače a přesnost měření.

## **Použitá literatura**

- [1] Metra Mess- und Frequenztechnik in Radebeul e.K.: Vibration sensor,  
[ květen 2010 ]  
< [http://www.mmf.de/standard\\_accelerometers.htm](http://www.mmf.de/standard_accelerometers.htm)>
- [2] OMEGA engineering: Akcelerometry, [ květen 2010 ]  
<<http://www.omegaeng.cz/prodinfo/Accelerometers.html>>
- [3] Technická univerzita Ostrava: Katedra mechaniky, [ květen 2010 ]  
<[www.337.vsb.cz/materialy/zaklady\\_experimentalni.../EXPME\\_4.pdf](http://www.337.vsb.cz/materialy/zaklady_experimentalni.../EXPME_4.pdf)>
- [4] Connexions: Butterworth Filters, [ květen 2010 ]  
< <http://cnx.org/content/m10127/latest/>>
- [5] KALINA, M: Porovnání různých typů filtrů pro potlačení šumu v měrných veličinách, [ Diplomová práce ], Vysoké učení technické v brně 2006
- [6] Dandýs bloguje: Waveletová transformace a její aplikace, [ březen 2010 ]  
<<http://dandys.cz/2008/waveletova-transformace-a-jeji-aplikace/>>
- [7] ČVUT v Praze , WAVELET TOOLBOX, [ březen 2010 ]  
< [k315.feld.cvut.cz/download/apr/apr\\_2001/wavelet\\_toolbox.pdf](http://k315.feld.cvut.cz/download/apr/apr_2001/wavelet_toolbox.pdf)>
- [8] ČVUT v Praze , WAVELET TOOLBOX, [ březen 2010 ]  
< [home.zcu.cz/~mklusal/postfinal.pdf](http://home.zcu.cz/~mklusal/postfinal.pdf)>
- [10] MCAE SYSTEMS, s.r.o.: Deformation - ARAMIS, [ březen 2010 ]  
< [http://www.mcae.cz/ARAMIS\\_CS.html](http://www.mcae.cz/ARAMIS_CS.html) >



## **Seznam příloh**

1. Materiálové listy
  - 1.1 PU pěna (Polyuretanová pěna)
  - 1.2 PE pěna (Polyethylenová pěna)
  - 1.3 Polyetylen (PE)
  - 1.4 Polypropylen (PP)
  - 1.5 Oboustranná montážní páska pěnová (z PE)
  - 1.6 VELCRO STANDARD LOOP (suchý zip)

## Příloha č. 1.1

**Báze:** polyuretan  
**Konzistence:** stabilní pěnová hmota  
**Systém vytvrzování:** vlhkostní  
**Tvorba slupky:** 8 min (20°C/65% vlhkost)  
**Rychlost schnutí:** povrch nelepí po 20-25 min při 20°C  
**Rychlost vytvrzování:** 3 cm za cca 1,5 hod (20°C, 65% r.h.)  
**Vydatnost:** 1000 ml = cca 45 litrů pěny  
**Smrštění:** žádné  
**Následná expanze:** žádná  
**Struktura pěny:** 70 – 80 % uzavřených buněk  
**Specifická hmotnost:** 25 kg/m<sup>3</sup> (po vytvrzení)  
**Teplotní odolnost:** -40°C až +90°C (po vytvrzení)  
**Charakter pěny:** thixotropní  
**Izolační faktor:** 33 mW/metr Kelvin  
**Pevnost ve střihu:** > 17 N/cm<sup>2</sup> (DIN 53427)  
**Pevnost v tlaku:** > 3 N/cm<sup>2</sup> (DIN 53421)  
**Pevnost v ohybu:** > 7 N/cm<sup>2</sup> (DIN 53423)  
**Absorpce vody:** 1 % obj. (DIN 53429)

## Příloha č. 1.2

Thickness	mm	2.0
Density	Kg/m <sup>3</sup>	30,00
Cell Size	mm	0.82
Thermal Conductivity	W/m.°C	0.036
Thermal Resistance	m <sup>2</sup> .°C/W	0.055
Tensile Strength	Kg/cm <sup>2</sup>	MD 5,4
		CD 3,2
Elongation	%	MD 110
		CD 100
Heat Dimensional Stability	%	MD 4 <sup>+</sup>
		CD 4 <sup>-</sup>
Water Absorption	mg/cm <sup>2</sup>	0,02
Moisture Permeability	g/m <sup>2</sup> .24hr	0,24
Tearing Strength	Kg/cm	1,95
The Permanent Compression Set (100 kgf/cm <sup>2</sup> )	%	7,00



## Příloha č. 1.3

Specifikační vlastnosti			
Viskozitní číslo	Index toku taveniny		Hustota
[cm <sup>3</sup> .g <sup>-1</sup> ]	190/21,6		[kg.m <sup>-3</sup> ]
600	1,4 ± 0,3		950
Mechanické vlastnosti			
Modul pružnosti v tahu [MPa]	1 060		
Napětí na mezi kluzu [MPa]	21		
Poměrné prodloužení na mezi kluzu [%]	10		
Napětí při přetržení [MPa]	–		
Nominální poměrné prodl. při přetržení [%]	> 50		
Poměrné prodloužení při přetržení [%]	–		
Křípový modul při namáhání v tahu [MPa]	1h	1 000 h	
	680	340	
Rázová houževnatost Charpy [kJ. m <sup>-2</sup> ]	23 °C	0°C	-30°C
	–	–	–
Vrubová houževnatost Charpy [kJ. m <sup>-2</sup> ]	23 °C		-20 °C
	18 - b.P) (≥ 25°)		15 - b.P)
Tvrdost vtiskem kuličky, 30 s	49		
Tepelné vlastnosti			
Teplota tání, DSC, 10 °C.min <sup>-1</sup> [°C]	130–135		
Teplota průhybu při zatížení [°C]	1,8 MPa	0,45 MPa	
	44	75	
Teplota měknutí dle Vicata [°C] (rychlost zvyšování teploty 50 °C.h <sup>-1</sup> )	10 N	50 N	
	–	80	
Koeficient délkové teplotní roztažnosti (23–80 °C) [10 <sup>-6</sup> .°C]	Podél	Napříč	
	200	–	
Tepelná vodivost [W.m <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup> ]	0,41		
Měrná tepelná kapacita [kJ.kg <sup>-1</sup> .°C <sup>-1</sup> ]	1,84		
Hořlavost UL 94 při nominální tloušťce tělesa 1,6 mm	94 HB		
Kyslíkové číslo [%]	–		

## Příloha č. 1.4

<b>Vlastnost</b>	<b>Jednotka</b>	<b>PP-H vysoká tekutost</b>	<b>PP-H nízká tekutost</b>	<b>PP-B vysoká tekutost</b>
<b><i>Fyzikální vlastnosti</i></b>				
Hustota	g/cm <sup>3</sup>	0,906-0,912	0,898-0,903	0,904-0,910
Index toku taveniny (230/2,16)	g/10 min	2-50	0,35-5	2-35
Teplota tání krystalitů	°C	160-165	155-160	160-165
<b><i>Mechanické vlastnosti</i></b>				
Modul pružnosti v tahu 23 °C	MPa	1100-1300	900-1100	600-750
Modul pružnosti v tahu 50 °C	MPa	450	-	-
Modul pružnosti v tahu 100 °C	MPa	250	-	-
Pevnost 23 °C	MPa	35-42	22-34	20-32
Pevnost 80 °C	MPa	-	-	-
Tažnost	%	10-700	500-800	20-500
Tvrdost kuličkou, 30 s	MPa	75-90	42-85	58-74
Houževnatost Charpy, 20 °C	kJ/m <sup>2</sup>	20-bez lomu	bez lomu	bez lomu
Houževnatost Charpy, -20 °C	kJ/m <sup>2</sup>	8-14	10-15	50-90
Vrubová houževnatost Charpy, 20 °C	kJ/m <sup>2</sup>	5-10	2,5-17	10-16
Vrubová houževnatost Charpy, -20 °C	kJ/m <sup>2</sup>	1,5-2	1,5-4	4-8
<b><i>Tepečné vlastnosti</i></b>				
Vicat B	°C	92-100	90	73-90
Tvarová stálost za tepla ISO 75 A (1,8 MPa)	°C	60	55	47-60
Tvarová stálost za tepla ISO 75 B (0,4 MPa)	°C	90-130	90-100	80-95
Koeficient délkové teplotní roztažnosti	K <sup>-1</sup>	1,5.10 <sup>-4</sup>	1,5.10 <sup>-4</sup>	1,5.10 <sup>-4</sup>
Teplota použití, maximální krátkodobá	°C	140	140	140
Teplota použití, maximální trvalá	°C	100	100	100
Teplota použití, minimální trvalá	°C	0	0	-20

## Příloha č. 1.5

<b>Construction</b>		<b>Tapes 4496W 4496B 4496G</b>
Adhesive Type:		430 (Acrylic Adhesive)
Adhesive Carrier:		Closed Cell Crosslinked Polyethylene Foam
Thickness:	Nominal	1/16 in. 0.062 in. (1.6 mm)
	Tolerance	0.053-0.080 in. (1.4-2.0 mm)
Foam Color:		White (W) Black (B) Grey (G)
Release Liner:		0.003 in. Tan Paper (0.08 mm)
Approximate Density: (foam only)		4 lb./ft. <sup>3</sup> (65 kg/m <sup>3</sup> )
<b>Performance Characteristics</b>		<b>Tapes 4496W 4496B 4496G</b>
Peel Adhesion: To Stainless Steel Room Temperature 90° Angle Peel 12 in./min. Jaw Speed (308 mm/min.) 72 hour Dwell ASTM D-3330		8 lb./in. width (140 N/100 mm)
Static Shear: 1/2 in. <sup>2</sup> (3.23 cm <sup>2</sup> ) overlap will hold listed weight for 10,000 min. ASTM D-3854		72°F (22°C) 1000 g 120°F (49°C) 500 g 158°F (70°C) 250 g
Normal Tensile: (T-Block) 1 in. <sup>2</sup> (6.45 cm <sup>2</sup> ) Jaw Speed 2 in./min. (50 mm/min.) 72 hour Dwell ASTM D-897		40 lb./in. <sup>2</sup> (275 kPa)
Dynamic Shear: 1 in. <sup>2</sup> (6.45 cm <sup>2</sup> ) overlap Jaw Speed 0.5 in./min. (12.7 mm/min.) ASTM D-1002		35 lb./in. <sup>2</sup> (240 kPa)
Temperature Resistance: Short Term (Minutes, Hours)		180°F (82°C)
Long Term (Days, Weeks)		158°F (70°C)
U.V. Resistance:		No apparent degradation when exposed for seven days in U.V. chamber.
Solvent Resistance: Splash testing cycle - 20 seconds submersion, 20 sec. air dry, 3 cycles		No apparent degradation when exposed to splash testing of typical hydrocarbon solvents.
Cold Flex at -20°F (-30°C):		No cracking when flexed around a 1/4 in. (6.4 mm) mandrel.
Shelf Life:		24 months from date of manufacture when stored in original cartons at 70°F (21°C) and 50% relative humidity.
Available Sizes:		Non-standard sizes may be subject to minimum order requirements.
Standard Roll Length:		36 yds. (32.9 m)
Maximum Roll Length:		100 yds. (91.4 m)
Roll Width:		1/8 in. - 48 in. (3.2 mm - 1219 mm)
		Slit rolls 1/8 in. (3.2 mm) up to 1/2 in. (12.7 mm) are only available in standard lengths.
Slitting Tolerance:		± 1/32 in. ± 0.031 in. (± 0.8 mm)

# Příloha č. 1.6

## VELCRO STANDARD LOOP

### Construction characteristics

Base material Polyamide (Nylon)  
Construction Woven  
Standard binder backing Synthetic resin

Width < 50mm  $\hat{A}\pm 1\text{ mm}$   
m 50mm  $\hat{A}\pm 1.5\text{ mm}$   
m 100mm  $\hat{A}\pm 2\text{ mm}$

Overall thickness 2.35 ! 0.25 mm  
Weight 300g/m $\hat{A}$   $\hat{A}\pm 10\%$

### Performance

Mechanical properties with Hook 88  
Peel Strength\* Avg. = 2.0 N/cm Min = 1.3 N/cm  
Shear Strength\* Avg. = 10.3 N/cm $\hat{A}$  Min = 7.3 N/cm $\hat{A}$   
Cycle Life\* 50% loss after 10,000 cycles  
Breaking Strength\* Min = 210 N/cm  
Shrinkage after washing (3 x 60 $\hat{A}$ °C) 4%  
Melting point 250 $\hat{A}$ °C  
Electrical Conductivity None

### Resistance Properties

UV Resistance Poor  
Acid Resistance Poor  
Alkali Resistance Poor  
Colourfastness to washing (ISO 105 sec/C03) 4 minimum  
Colourfastness to dry cleaning (ISO 105 sec/D01) 4 minimum  
Colourfastness to rubbing (ISO 105 sec/X12) 4 minimum  
Colourfastness to perspiration (ISO 105 sec/E04) 4 minimum  
Colourfastness to light (ISO 105 sec/B04) 5 minimum (dark colours)  
4 minimum (white and light colours)  
Colourfastness to water (ISO 105 sec/E01) 4 minimum  
Colourfastness to seawater (ISO 105 sec/E02) 4 min